

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați  
Școala doctorală de inginerie**



**TEZĂ DE DOCTORAT  
ANALIZA COMPORTĂRII SISTEMELOR DE DISIPARE  
CU FRECARE USCATĂ  
LA ACȚIUNI DINAMICE**

**Nume doctorand**

**Fănel Dorel ȘCHEAUA**

**Conducător științific,**

**Prof. dr. ing. dr. h. c. Polidor BRATU**

**Membru Titular al Academiei de Științe Tehnice din România**

**Seria I6: Inginerie mecanică Nr. 11**

**GALAȚI**

**2013**



## DECIZIA

nr. 2551 / 27.11.2013

În conformitate cu prevederile Legii Educației Naționale nr. 1/05.01.2011, ale Codului studiilor universitare de doctorat și ale Regulamentului instituțional privind organizarea și desfășurarea studiilor universitare de doctorat;

În baza referatului conducătorului științific **Prof.univ.dr.ing.Polidor-Paul BRATU**;  
conform aprobării Consiliului școlii doctorale din data de **25.11.2013**;

În baza Ordinului Ministrului Educației, Cercetării, Tineretului și Sportului nr. 3288/20.02.2012  
privitor la numirea rectorului;

### Rectorul universității decide:

**Art. 1.** Se numește comisia pentru evaluarea și susținerea publică a tezei de doctorat de către doctorandul(a) **ing. ȘCHEAUA V. FĂNEL-DOREL**, domeniul **Inginerie mecanică**, în următoarea componență:

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>1. Președinte</b>             | <b>Conf.univ.dr.ing. Cristian SIMIONESCU</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați     |
| <b>2. Conducător de doctorat</b> | <b>Prof.univ.dr.ing.Polidor-Paul BRATU</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați       |
| <b>3. Referent oficial</b>       | <b>Prof.univ.dr.ing. Gilbert-Rainer GILLICH</b><br>Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița   |
| <b>4. Referent oficial</b>       | <b>Prof.univ.dr.ing. Cristian PAVEL</b><br>Universitatea Tehnică de Construcții din București |
| <b>5. Referent oficial</b>       | <b>Conf.univ.dr.ing. Petru DUMITRACHE</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați        |

**Art. 2.** Școala doctorală, Secretariatul doctorat, Compartimentul salarizare și Biroul financiar vor duce la îndeplinire prevederile prezentei decizii.

**Rector,**

Prof. univ. dr. ing. **Ildăruș Gabriel BIRSAN**



## CUPRINS

INTRODUCERE .....	1
Cap. 1 Stadiul actual al cercetărilor pentru reducerea efectelor acțiunilor seismice asupra structurilor de construcții și stabilirea unor soluții tehnice .....	8
1.1 Sisteme de protecție pasivă .....	8
1.2 Sisteme de protecție activă .....	9
1.3 Posibile deficiențe în funcționarea sistemelor de protecție seismică.....	9
1.4 Obiectivele, oportunitatea și scopul tezei .....	9
Cap. 2 Acțiuni specifice mișcărilor seismice cu efect asupra stabilității structurilor de construcții .....	9
2.1 Acțiuni dinamice asupra structurilor de construcții....	9
2.2 Caracterizarea mișcărilor seismice .....	10
2.3 Acțiunea seismică asupra structurilor de construcții..	11
2.4 Analiza răspunsului seismic liniar-elastic al unui sistem dinamic cu un singur grad de libertate .....	11
2.5 Analiza răspunsului seismic liniar al sistemelor elastice cu număr finit de grade de libertate.....	11
2.6 Concluzii parțiale .....	12
Cap. 3 Stadiul actual privind sistemele de izolare antiseismică cu alunecare și frecare uscată.....	12
3.1 Sisteme de izolare antiseismică cu alunecare pe suprafață plană.....	12
3.2 Sisteme de izolare antiseismică cu alunecare pe suprafață sferică.....	14
3.3 Sisteme duble de izolare antiseismică cu alunecare pe suprafață sferică.....	17
3.4 Sisteme hidraulice de disipare a energiei seismice... 18	
3.4.1 Sisteme hidraulice disipative pasive a energiei seismice .....	18
3.4.2 Sisteme hidraulice disipative a energiei seismice cu circuit de control .....	19

3.5 Sisteme de izolare antiseismică a structurilor de construcții cu reazeme elastomerice.....	20
3.6 Concluzii parțiale .....	21
Cap. 4 Modelarea fizică a sistemelor structurale pe izolatori antiseismici cu alunecare și frecare uscată.....	21
4.1 Sistem cu un grad de libertate fără excitație exterioară .....	21
4.2 Sistem cu un grad de libertate cu excitație exterioară	22
4.2.1 Energia disipată prin frecare uscată la o excitație cinematică armonică.....	22
4.2.2 Echivalența cu amortizarea vâscoasă.....	22
4.3 Forțe disipative .....	22
4.4 Energia disipată la excitație dinamică armonică.....	22
4.5 Concluzii parțiale .....	22
Cap. 5 Analiza structurală și funcțională a sistemelor de izolare antiseismică cu efect de disipare energetică .....	23
5.1 Sistem izolator cu elastomeri .....	23
5.2 Sistem izolator cu elastomeri și reazeme cu alunecare .....	23
5.3 Sistem izolator bazat pe reazeme cu alunecare și disipatori hidraulici .....	24
5.4 Concluzii parțiale .....	25
Cap. 6 Modelarea comportării dinamice a sistemelor hibride de izolare cu elastomeri și elemente disipative de rostogolire .....	25
6.1 Modelarea sistemului izolator pendular cu rostogolire.	25
6.2 Modelarea sistemului de izolare cu elemente disipative de rostogolire .....	26
6.3 Modelarea sistemului hibrid vâsco-elastic pendular cu elemente disipative de rostogolire.....	26
6.4 Simularea comportării în regim dinamic a reazemelor pendulare cu elemente elastomerice .....	26
6.5 Concluzii parțiale .....	27
Cap. 7 Cercetare experimentală .....	28
7.1 Generalități și ipoteze de lucru.....	28

7.2	Prezentarea sistemului experimental și a aparaturii de măsurare .....	29
7.3	Rezultate obținute.....	29
7.4	Analiza comparativă a rezultatelor experimentale obținute .....	31
7.5	Analiza rezultatelor experimentale pe baza valorilor efective obținute pentru amplitudinea accelerației pentru cele două elemente structurale.....	31
7.6	Concluzii parțiale .....	31
Cap. 8	Concluzii, contribuții personale și direcții de cercetare viitoare .....	32
8.1	Concluzii generale .....	32
8.2	Contribuții personale.....	33
8.3	Direcții viitoare de cercetare .....	34
	BIBLIOGRAFIE .....	35

## INTRODUCERE

Teza de doctorat intitulată "ANALIZA COMPORTĂRII SISTEMELOR DE DISIPARE CU FRECARĂ USCATĂ LA ACȚIUNI DINAMICE" își propune să realizeze cercetări teoretice și experimentale în domeniul unor sisteme inovative izolatoare și disipative de energie, care prin atașarea la structura izolată acționează în sensul obținerii unui comportament vizibil îmbunătățit al acestora în timpul acțiunilor seismice, asigurând în acest mod funcționalitatea deplină a structurii după încetarea acțiunii seismice.

Rezultatele relevante și care se constituie ca elemente originale ale prezentei teze de doctorat sunt următoarele:

1. Conceperea și fundamentarea unor sisteme de izolare și disipare de energie inovative, ca soluție tehnică pe baza frecării uscate.
2. Stabilirea și optimizarea unor soluții de fundamentare a sistemelor de izolare cu frecare de alunecare pe suprafață sferică și sisteme de izolare cu frecare de rostogolire pe suprafață sferică.
3. Modelarea fizică, reologică și numerică a sistemelor de izolare bazate pe forța de frecare uscată.
4. Realizarea unui set de încercări experimentale realizate pe elemente structurale la scară redusă.
5. Realizarea analizei cu elemente finite pentru elementele sistemelor disipative hidraulice folosite la consolidarea structurilor de tip pod sau viaduct.

Teza de doctorat este structurată pe opt capitole care prezintă tema abordată și rezolvarea ei progresivă, precum și concluziile, contribuțiile originale, modul de valorificare a rezultatelor și direcții viitoare de cercetare.

Capitolul 1 prezintă diferitele tipuri constructive precum și metodele de implementare în interiorul sistemului structural ale sistemelor izolatoare și disipatoare de energie seismică, în funcție de principiul de funcționare adoptat pentru fiecare sistem în parte.

Capitolul 2 prezintă tipurile de acțiuni dinamice care pot exercita influențe asupra stabilității structurilor de construcții la un anumit moment de timp, cu accent pe caracterizarea acțiunilor specifice mișcărilor seismice care pot exercita solicitări importante, cu efecte asupra stabilității structurilor de construcții.

Capitolul 3 realizează o prezentare succintă a posibilităților de realizare a sistemelor de izolare contra acțiunilor seismice, sisteme care funcționează pe baza forței de frecare uscate. Sunt prezentate sistemele izolatoare cu alunecare pe suprafață plană, precum și soluțiile de

implementare la nivelul bazei structurii de izolat, apoi sunt prezentate sistemele izolatoare cu alunecare pe suprafață concavă în varianta simplă și dublă, ca soluții mult mai eficiente, pentru care este realizată analiza funcționării în funcție de parametri constructivi.

Capitolul 4 prezintă modelarea matematică pentru mișcarea sistemelor structurale dotate cu izolatori antiseismici cu alunecare și frecare uscată.

Capitolul 5 realizează o analiză structurală și funcțională a sistemelor complete de izolare antiseismică cu efect de disipare energetică prin combinarea acțiunii de izolare și de disipare energetică cu scopul de a obține un comportament îmbunătățit al structurii izolate în timpul acțiunilor seismice de intensitate majoră.

Capitolul 6 prezintă un sistem inovativ de izolare contra acțiunilor seismice și anume un sistem care înlocuiește mișcarea de alunecare cu rostogolire. Este realizată inițial modelarea comportării dinamice a sistemelor cu rostogolire pe suprafață sferică, apoi prin adăugarea reazemelor elastomerice sunt configurate sistemele hibride de izolare cu elastomeri și elemente disipative de rostogolire a căror funcționare este descrisă și modelată în cadrul acestui capitol.

Capitolul 7 înglobează partea de cercetare experimentală pe model experimental. A fost construit un stand experimental care reprezintă o structură de tip pod sau viaduct, a cărei suprastructură a fost dotată cu sisteme izolatoare hibride compuse din dispozitive cu rostogolire pe suprafață sferică și reazeme elastomerice care prin acțiunea combinată oferă un răspuns îmbunătățit structurii izolate atunci când este solicitată în regim dinamic prin intermediul unui excitator care simulează acțiunea dinamică produsă de mișcarea seismică.

Capitolul 8 assemblează concluziile care se pot formula cu privire la cercetările efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat și contribuțiile personale ale autorului, referitor la dispozitivele inovative de izolare și disipare de energie seismică prezentate și analizate teoretic și experimental din punct de vedere constructiv și funcțional în vederea aplicării cu succes în practică prin montarea la structurile reale de tip pod sau viaduct noi sau reabilitarea celor existente.

## CAP. 1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PENTRU REDUCEREA EFECTELOR ACȚIUNILOR SEISMICE ASUPRA STRUCTURILOR DE CONSTRUCȚII ȘI STABILIREA UNOR SOLUȚII TEHNICE

### 1.1 Sisteme de protecție pasivă

O prezentare generală a tuturor procedeeelor de protecție seismică folosite la ora actuală pe plan mondial este realizată schematic în Fig. 1.1-1:

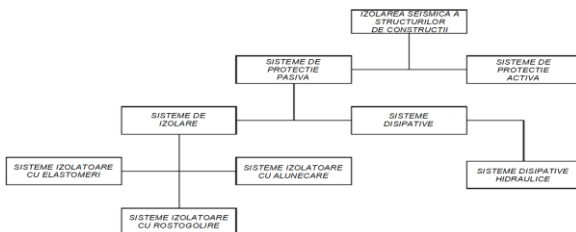


Fig. 1.1-1 Prezentarea schematică a sistemelor de protecție seismică [21]

Pentru a putea asigura condițiile necesare realizării unei izolări optime a structurilor contra acțiunilor seismice se poate pleca de la folosirea uneia dintre următoarele metode:

- preluarea și consumul energiei introduse de cutremurul de pământ în structură;
- schimbarea comportamentului structurii în timpul acțiunii cutremurelor în sensul limitării deplasărilor, vitezelor și accelerațiilor elementelor structurale.

O creștere a rigidității structurii de rezistență a sistemului structural poate însemna plasarea sistemului într-o altă zonă spectrală care nu totdeauna poate fi benefică, (Fig. 1.1-2). [21]

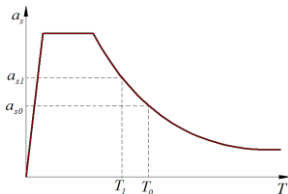


Fig. 1.1-2 Modificarea valorilor spectrale pentru cazul creșterii rigidității sistemului structural

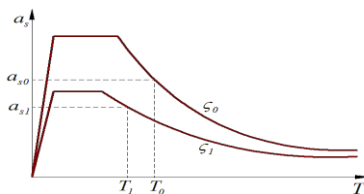


Fig. 1.1-3 Reducerea valorilor spectrale în cazul introducerii disipatorilor de energie



În Fig. 1.1-3 este reprezentată modificarea răspunsului unui sistem structural la acțiunea seismică prin plasarea pe alte curbe corespunzătoare valorilor spectrale.

### **1.2 Sisteme de protecție activă**

Pe baza progreselor științei și tehnicii actuale, au fost dezvoltate în ultimii ani pe plan mondial multiple sisteme izolatoare capabile să asigure siguranță în exploatare structurilor de construcție. Astfel de sisteme sunt capabile să reducă efectul acțiunii seismice realizând o siguranță maximă în exploatare și fac parte din categoria protecției seismice active.

### **1.3 Posibile deficiențe în funcționarea sistemelor de protecție seismică**

Se poate remarca faptul că la toate tipurile de sisteme, cu excepția sistemelor de izolare a bazei, accelerațiile se transmit pe verticală de la nivelul terenului de fundare, până la suprastructură, cu valori cel puțin egale cu accelerația terenului și care, deși nu afectează structura de rezistență a structurii izolate, pot provoca totuși disconfort asupra oamenilor, sau eventuale efecte defavorabile care pot afecta funcționarea optimă a unor echipamente sau utilaje prezente în incinta structurilor izolate cu astfel de dispozitive izolatoare sau disipative de energie seismică.

### **1.4 Obiectivele, oportunitatea și scopul tezei**

Obiectivul central al tezei este optimizarea structurală și funcțională a reazemelor pendulare cu rostogolire prin inserarea unui set de elemente elastomerice vâsco-elastice cu rolul de a sensibiliza caracteristica dinamică globală a sistemului la compoziția spectrală acțiunilor dinamice intense și variate.

## **CAP. 2 ACȚIUNI SPECIFICE MIȘCĂRILOR SEISMICE CU EFECT ASUPRA STABILITĂȚII STRUCTURILOR DE CONSTRUCȚII**

### **2.1 Acțiuni dinamice asupra structurilor de construcții**

O acțiune dinamică reprezintă o solicitare variabilă în timp, care are ca efect tendința de mișcare a unei structuri.

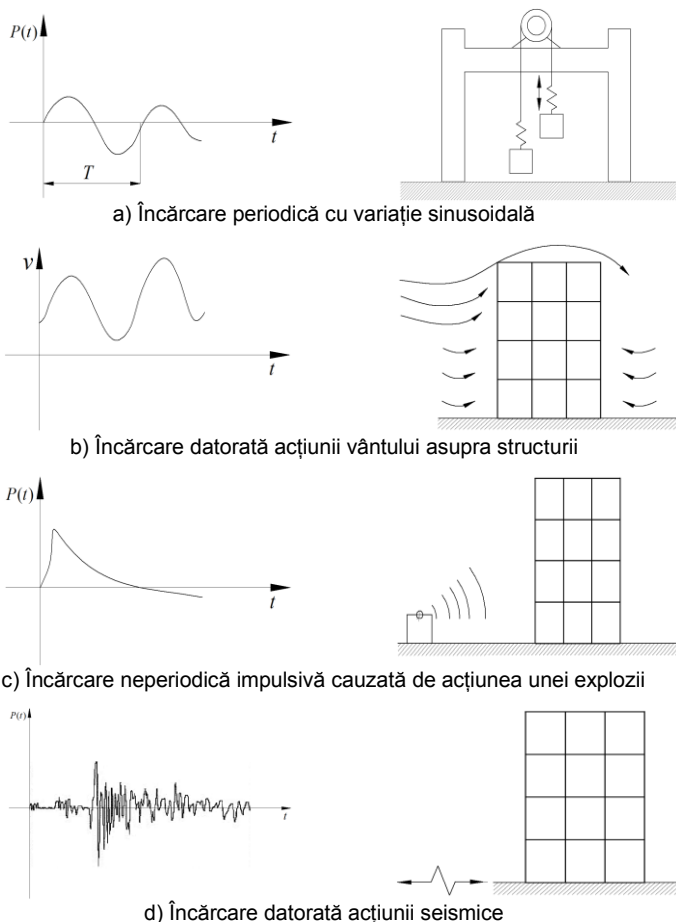


Fig. 2.1-1 Prezentarea tipurilor de încărcări care pot acționa asupra unui sistem structural [10]

## 2.2 Caracterizarea mișcărilor seismice

Din varietatea sollicitărilor dinamice se poate evidenția faptul că acțiunile seismice prezintă cel mai mare interes datorită efectelor puternice pe care le poate genera un seism asupra structurilor de construcții situate de obicei în zone foarte dens populate. Caracteristica de bază a acțiunilor seismice asupra structurilor de construcții o reprezintă prezența forțelor de inerție.

### 2.3 Acțiunea seismică asupra structurilor de construcții

Studiul acțiunilor seismice asupra structurilor are în vedere drept factor perturbator mișcarea terenului, care are un caracter haotic, tranzitoriu, spațial dar și violent în cazul intensităților ridicate. Oscilațiile seismice ale structurilor datorate mișcărilor terenului, conduc la solicitări importante care implică deformarea postelastă a structurilor și o comportare neliniară.

### 2.4 Analiza răspunsului seismic liniar-elastic al unui sistem dinamic cu un singur grad de libertate

Cel mai simplu model de sistem cu comportare liniar elastică este reprezentat printr-un oscilator cu un singur grad de libertate prezentat în Fig. 2.4-1.

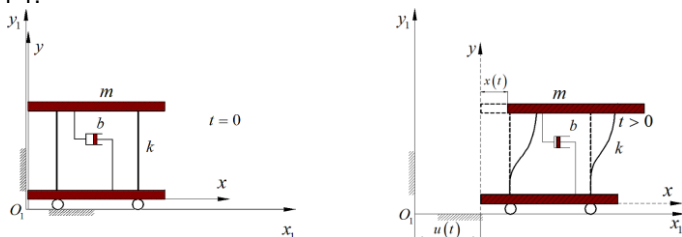


Fig. 2.4-1 Reprezentarea sistemului elastic cu comportare liniar statică [2]

În concluzie putem spune că mărimile cinematice fundamentale sunt în exprimare instantanee în termeni de deplasare, viteză, accelerație. [2]

### 2.5 Analiza răspunsului seismic liniar al sistemelor elastice cu număr finit de grade de libertate

Pentru evidențierea comportării unei structuri care este supusă la acțiunile seismice este considerat un sistem structural, care descrie o structură multietajată[2]

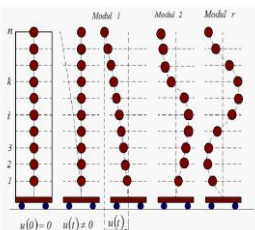


Fig. 2.5-1 Sistem cu n grade de libertate [2]

## 2.6 Concluzii parțiale

Analiza critică comparativă a categoriilor de acțiuni dinamice, în special al celor seismice, conduce la următoarele concluzii parțiale:

- Regimul dinamic al structurilor de construcții este influențat în mod direct și intens de parametrii acțiunilor externe perturbatoare;
- Modelarea ansamblului structură - sistem izolator - teren ca un sistem de tip dipol cu următoarea configurație: intrare (excitație) - funcție de transfer (izolator) - ieșire (structură) trebuie să țină cont de întregul set de parametri esențiali ce pot caracteriza complet atât acțiunea dinamică perturbatoare, cât și răspunsul structural.
- Analiza răspunsului structural trebuie efectuată în scopul evaluării parametrilor cu impact asupra integrității structurale și/sau asigurării confortului factorului uman, toate din punctul de vedere al îndeplinirii/respectării valorilor limită impuse prin reglementările normative în vigoare.

## CAP. 3 STADIUL ACTUAL PRIVIND SISTEMELE DE IZOLARE ANTISEISMICĂ CU ALUNECARE ȘI FRECARE USCATĂ

### 3.1 Sisteme de izolare antiseismică cu alunecare pe suprafață plană

Forța laterală dezvoltată într-un dispozitiv de izolare cu alunecare este descrisă de relația: [11], [23]

$$F(t) = \frac{P}{R} u(t) + \mu_a P \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (3.1)$$

unde:

- $u$  - reprezintă deplasarea;
- $\dot{u}$  - viteza de alunecare;
- $R$  - raza de curbură a suprafeței de alunecare;
- $\mu_a$  - coeficientul de frecare la alunecare;
- $P$  - sarcina statică.

În Fig. 3.1-1 (a) este prezentată schema constructivă a unui sistem izolator cu frecare de alunecare pe suprafață plană, iar în Fig. 3.1-1 (b) este prezentat ansamblul de montaj la baza structurii izolate cu sistem de limitare a deplasărilor hidraulic.

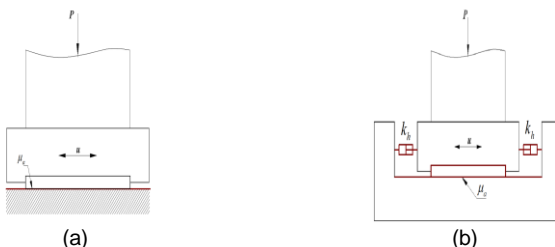


Fig. 3.1-1 Presentare schematică a sistemului izolator cu alunecare pe suprafață plană

Datorită faptului că forța de revenire în cazul acestui tip de sistem izolator este zero, rezultă că pot exista variații importante în răspunsul vârfurilor de deplasare ale suprastructurii, cu deplasări compensate permanente.

Soluția este folosirea sistemului izolator cu alunecare pe suprafață plană în combinație cu un dispozitiv de restabilire a forței, cum ar fi sistemul cu arcuri sau cu sisteme de disipare hidraulice.

Pentru un sistem izolator cu alunecare pe suprafață plană raza de curbură a suprafeței tinde la infinit ( $R \rightarrow \infty$ ), așa că relația care descrie forța laterală devine:

$$F(t) = \mu_a P \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (3.2)$$

În Fig. 3.1-2 este prezentată diagrama ideală forță-deplasare pentru sistemul izolator cu alunecare pe suprafață plană.

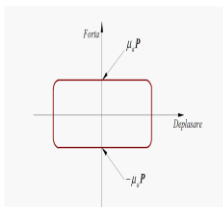


Fig. 3.1-2 Diagrama forță-deplasare pentru sistemul izolator cu alunecare pe suprafață plană [23]

Un avantaj al sistemului de izolare cu alunecare pe suprafață plană este reprezentat de faptul că forma suprafeței plane de alunecare permite o suprafață de contact mare ce pot fi încărcate cu presiuni mari pe reazeme (presiunea medie pe reazem poate fi între 5 – 80 Mpa).

### 3.2 Sisteme de izolare antiseismică cu alunecare pe suprafață sferică

Din categoria sistemelor izolatoare care acționează la baza structurii fac parte sistemele cu alunecare pe suprafață sferică, care se prezintă sub formă de reazeme izolatoare care realizează deconectarea între fundație și suprastructură, fiind montate la baza structurii izolate.

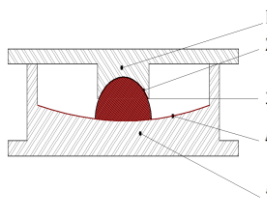


Fig. 3.2-1 Prezentare în secțiune a reazemului cu alunecare pe suprafață sferică

Cel mai simplu model de reazem bazat pe forța de frecare uscată prezentat schematic în secțiune în Fig. 3.2-1, este format dintr-o placă superioară (1), o suprafață de alunecare secundară care permite rotația (2), piesa pivotantă de alunecare (3), suprafața sferică principală de alunecare (4), precum și placa inferioară (5).

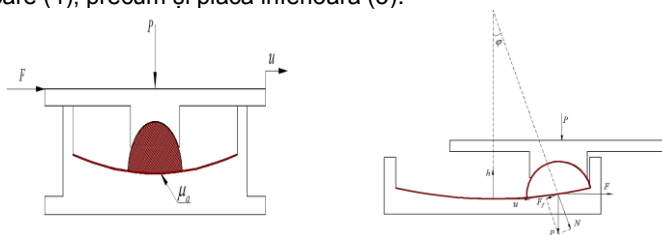


Fig. 3.2-2 Modelarea fizică a funcționării reazemului cu alunecare pe suprafață sferică bazat pe forța de frecare uscată (Coulombiană)

Forța de frecare uscată dintre cele două suprafețe asigură amortizare a șocurilor și vibrațiilor consumând astfel energie la interfața de alunecare, iar revenirea pe poziția inițială are loc datorită acțiunii greutății proprii a suprastructurii precum și formei suprafeței concave de alunecare, cu aportul forțelor laterale de restaurare.

Relațiile obținute se pot reduce la următoarea formă, care reprezintă forma neliniară a ecuației care descrie echilibrul forțelor care intervin în funcționarea reazemelor cu frecare de alunecare pe suprafață concavă:

$$-P \sin \varphi + F \cos \varphi - F_r (\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi) = 0 \quad (3.3)$$

Pentru realizarea reprezentării grafice a deplasării pe verticală, Fig. 3.2-3, au fost introduse datele referitoare la deplasarea ( $u$ ), raza de curbură a suprafeței de alunecare ( $R$ ), obținându-se în final curbele corespunzătoare ridicării pe direcție verticală ( $h$ ) funcție de trei valori diferite pentru raza de curbură a suprafeței sferice de alunecare.

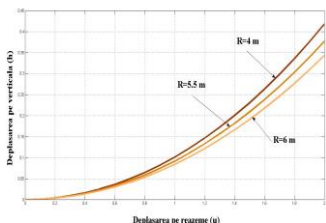


Fig. 3.2-3 Ridicarea pe verticală funcție de raza de curbură a suprafeței de alunecare

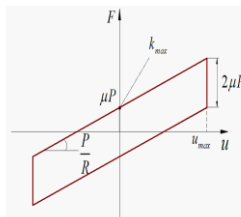
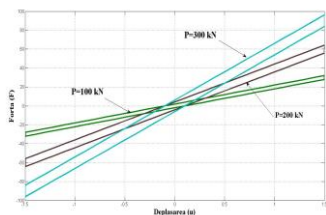
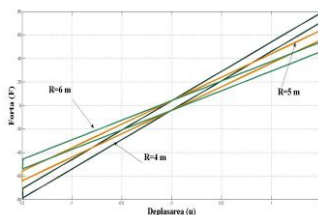


Fig. 3.2-4 Diagramele forță deplasare pentru reazemele cu frecare [23], [11]

Au fost considerate două cazuri distincte pentru care a fost analizat comportamentul reazemelor cu alunecare, prin modificarea valorilor mărimilor caracteristice care intervin în funcționare, iar rezultatele obținute sunt prezentate în Fig. 3.2-5 astfel: cazul 1, Fig. 3.2-5 (a), iar cazul 2, Fig. 3.2-5 (b).



(a) cazul 1 - sistemul izolator cu alunecare pe suprafață sferică-concavă cu modificarea valorii sarcinii statice pe reazem



(b) cazul 2 - sistemul izolator cu alunecare pe suprafață sferică-concavă cu modificarea valorii razei de curbură a suprafeței de alunecare

Fig. 3.2-5 Curbe histerezis forță-deplasare pentru sistemul izolator cu alunecare pe suprafață sferică

Odată cu creșterea valorii razei de curbură a suprafeței concave de alunecare se obține o scădere a valorilor forței precum și o apropiere a formei curbei histerezis de axa orizontală, ceea ce înseamnă apropierea de sistemul izolator cu frecare pe suprafață plană.

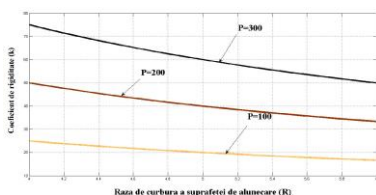


Fig. 3.2-6 Rigiditatea reazemului cu frecare uscată funcție de valoarea sarcinii statice

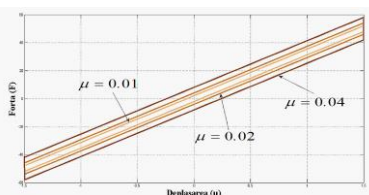
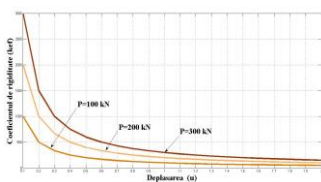
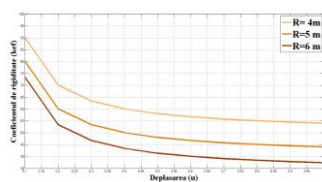


Fig. 3.2-7 Diagrama forță-deplasare a sistemului izolat cu frecare uscată funcție de trei valori diferite pentru coeficientul de frecare

Diagramele corespunzătoare celor trei cazuri distincte cu valori introduse în calcul sunt prezentate în Fig. 3.2-8



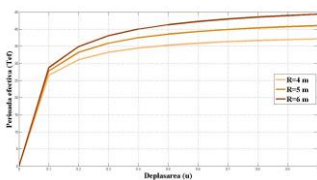
(a) Reprezentarea coeficientului de rigiditate funcție de deplasare cu modificarea sarcinii statice pe reazem - (cazul 1)



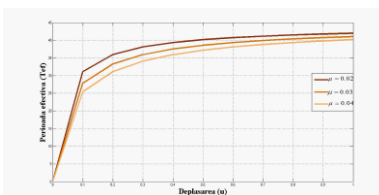
(b) Reprezentarea coeficientului de rigiditate funcție de deplasare cu modificarea razei de curbură a suprafeței principale de alunecare - (cazul 2)

Fig. 3.2-8 Reprezentarea coeficientului de rigiditate funcție de deplasare

Reprezentarea grafică a perioadei efective funcție de deplasarea pe reazeme este realizată pentru două cazuri diferite cu valorile introduse în calcul prezentate, iar diagramele corespunzătoare cazurilor sunt prezentate în Fig. 3.2-9.



(a) Reprezentarea perioadei efective funcție de deplasare cu modificarea razei de curbură a suprafeței principale de alunecare - (cazul 1)



(b) Reprezentarea perioadei efective funcție de deplasare cu modificarea coeficientului de frecare la nivelul suprafeței principale de alunecare - (cazul 2)

Fig. 3.2-9 Reprezentarea perioadei efective de vibrație pentru sistemul izolat cu alunecare



Amortizarea efectivă la deplasarea ( $u$ ) pe reazeme este descrisă de relația: [23], [11]

$$A_{ef} = \frac{E_{dis}}{4\pi E_c} = \frac{2\mu R}{\pi(\mu R + u)} \quad (3.4)$$

### 3.3 Sisteme duble de izolare antiseismică cu alunecare pe suprafață sferică

Construcția sistemului izolator cu frecare de alunecare dublu este prezentată în Fig. 3.3-1

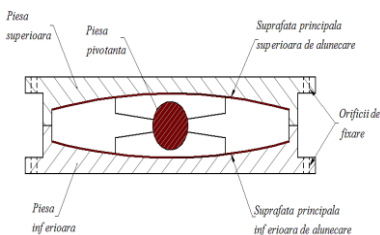


Fig. 3.3-1 Schema constructivă a unui sistem izolator dublu cu alunecare pe suprafață concavă

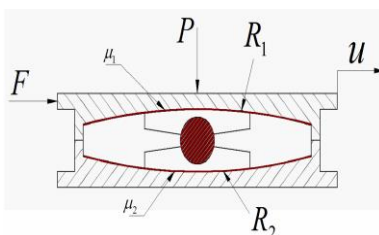


Fig. 3.3-2 Eforturile care acționează asupra unui sistem izolator dublu cu alunecare pe suprafață concavă

Eforturile care acționează asupra unui sistem izolator dublu cu alunecare pe suprafață concavă sunt prezentate în Fig. 3.3-2

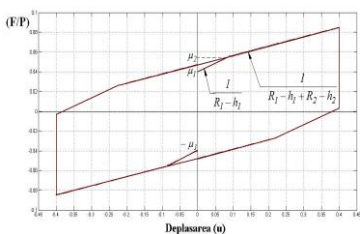


Fig. 3.3-3 Reprezentarea curbei de histerezis pentru cazul 1

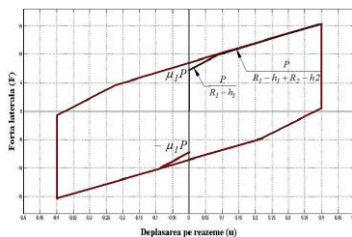


Fig. 3.3-4 Reprezentarea curbei de histerezis pentru sistemul izolator dublu corespunzătoare cazului 2

Mișcarea pe reazeme întâmpină o rezistență proporțională cu deplasarea datorită geometriei suprafețelor de alunecare.

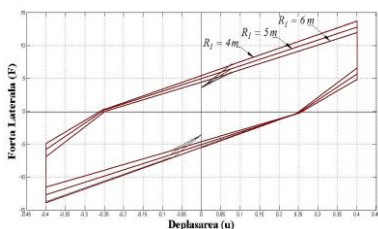


Fig. 3.3-5 Curba de histerzis a sistemului izolator dublu cu alunecare obținută pentru diferite raze de curbură a suprafeței superioare de alunecare – cazul 3

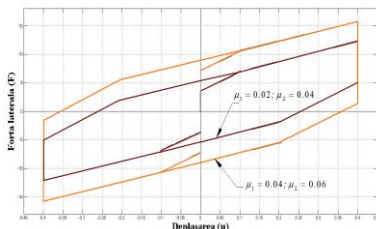


Fig. 3.3-6 Curba de histerzis a sistemului izolator dublu cu alunecare obținută la modificarea coeficienților de frecare – cazul 4

Dacă se modifică raza de curbură pentru ambele suprafețe de alunecare și valorile pentru deplasare diagrama pentru rigiditatea efectivă se obține așa cum este prezentat în Fig. 3.3-7

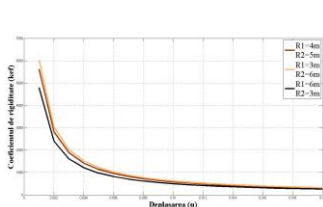
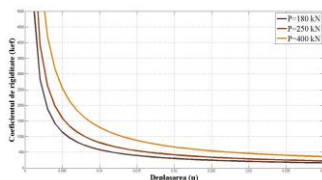


Fig. 3.3-7 Rigiditatea efectivă obținută pentru diferite raze de curbură a suprafețelor principale de alunecare



### 3.4 Sisteme hidraulice de disipare a energiei seismice

#### 3.4.1 Sisteme hidraulice disipative pasive a energiei seismice

Sunt considerate sisteme pasive deoarece nu necesită altă sursă adițională de energie pentru a opera și sunt activate chiar de către mișcarea generată de seism.

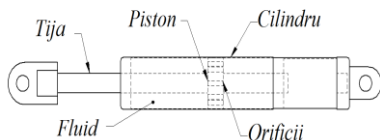


Fig. 3.4-1 Prezentare schematică a componentelor disipatorului hidraulic

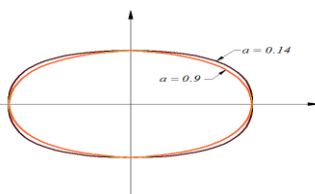


Fig. 3.4-2 Prezentarea formei curbei histeretice pentru dispozitivul disipativ hidraulic funcție de exponentul amortizării [19]

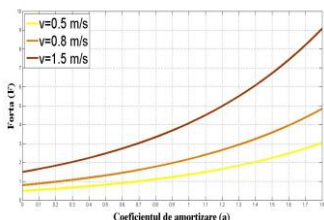


Fig. 3.4-3 Prezentarea curbei obținute pe baza relației forță-coeficient de amortizare pentru diferite valori ale vitezei

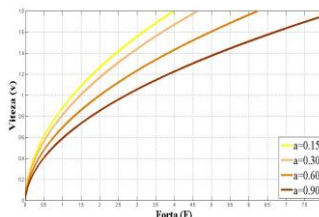


Fig. 3.4-4 Prezentarea curbei forță-viteză pentru diferite valori ale exponentului de amortizare (a)

### 3.4.2 Sisteme hidraulice disipative a energiei seismice cu circuit de control

Dispozitivele hidraulice cu circuit de control (Fig. 3.4-5) care pot asigura dispariția unei mari cantități de energie provenite ca urmare a apariției unui seism.

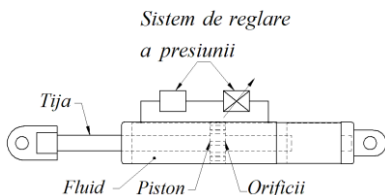


Fig. 3.4-5 Prezentarea construcției dispozitivului hidraulic cu circuit de control de timp obținută [1]

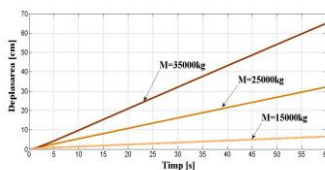


Fig. 3.4-6 Deplasarea pistonului funcție de timp obținută pentru diferite valori ale masei structurii

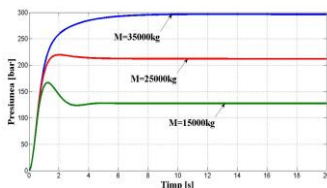


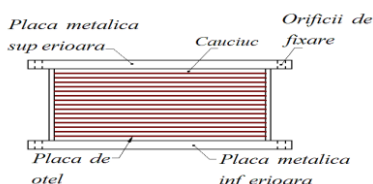
Fig. 3.4-7 Presiunea funcție de timp pentru valori diferite ale masei structurii

Pentru reprezentarea presiunii reglate în funcție de timp este analizată variabila  $p = p(t)$  unde se modifică valoarea masei structurii izolate, iar pentru cele trei valori diferite utilizate pentru masa structurii, sunt prezentate diagramele din Fig. 3.4-7.

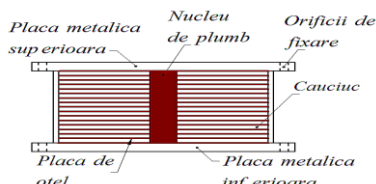
Creșterea valorilor presiunii în timp foarte scurt se poate observa pe reprezentarea grafică, corelată cu valoarea corespunzătoare în creștere a masei structurii izolate în dotarea căreia intră dispozitivul disipativ hidraulic cu circuit de control, după care valoarea presiunii este stabilizată la un nivel propriu pentru fiecare valoare a masei structurii.

### 3.5 Sisteme de izolare antiseismică a structurilor de construcții cu reazeme elastomerice

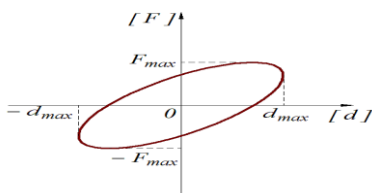
Au fost realizate sisteme de izolare a structurilor de construcții contra acțiunilor dinamice care se bazează pe proprietățile izolatoare ale reazemelor elastomerice.



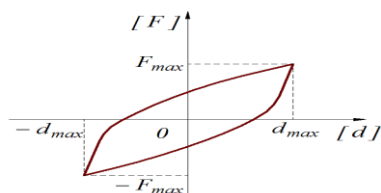
(a) schema constructivă a reazemului izolator elastomeric



(b) schema constructivă a reazemului izolator elastomeric cu nucleu de plumb



(c) reprezentarea curbei histeretice pentru sistemul izolator elastomeric



(d) reprezentarea curbei histeretice pentru sistemul izolator elastomeric cu nucleu de plumb

Fig. 3.5-1 Prezentarea soluțiilor constructive pentru reazeme izolatoare elastomerice și curbele histeretice specifice

În Fig. 3.5-2 este realizată reprezentarea coeficientului de rigiditate al sistemului izolator elastomeric în funcție de perioada de vibrație ( $T$ ).

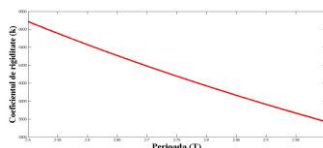


Fig. 3.5-2 Rigiditatea unui sistem izolator cu elastomeri în funcție de perioada de vibrație

### 3.6 Concluzii parțiale

În acest capitol a fost evaluat stadiul actual pentru cel de-al treilea element component din ansamblul structură - izolator - teren (de unde vine acțiunea dinamică perturbatoare) și anume sistemul de izolare, sau izolatorul, cum va fi prescurtat în continuare.

Acest element component este cel care impune funcția de transfer a întregului ansamblu considerat în cadrul acestei analize, având astfel o importanță majoră în cadrul dinamicii globale a sistemului acțiune - sistem izolator - răspuns.

Configurațiile structurale și funcționale ale sistemelor de izolare, disponibile într-o gamă deosebit de variată, oferă posibilități multiple de compatibilizare între sistemul structural ce trebuie izolat și acțiunea dinamică considerată ca factor perturbator.

O primă concluzie parțială este că sistemul de izolare trebuie adoptat în funcție de caracteristicile perturbației și ținând cont de valorile limită impuse pentru răspunsul structural.

A doua concluzie parțială reliefează importanța grupării a două sau mai multe tipuri de izolatoare în vederea optimizării funcției globale de transfer cu impact direct asupra îmbunătățirii performanțelor de izolare în ipoteza apariției unor acțiuni dinamice perturbatoare cu variații relativ mari ale domeniilor de valori pentru parametrii caracteristici de bază.

## CAP. 4 MODELAREA FIZICĂ A SISTEMELOR STRUCTURALE PE IZOLATORI ANTISEISMICI CU ALUNECARE ȘI FRECARE USCATĂ

### 4.1 Sistem cu un grad de libertate fără excitație exterioară

Considerăm sistemul mecanic format din arcul elastic cu constanta  $k$  și corpul punctiform cu masa  $m$ . Corpul punctiform se deplasează cu viteză constantă  $|\dot{x}| = v_0 = \text{const.}$  și se află în contact permanent cu linia orizontală  $Ox$  ce aparține planului de sprijin [2]

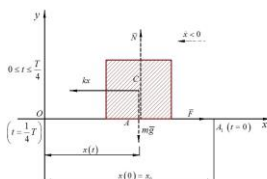


Fig. 4.1-1 Mișcare variată spre poziția de echilibru (O) [2]

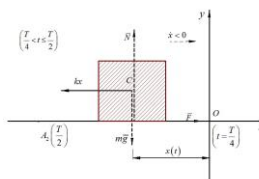


Fig. 4.1-2 Mișcare variată dinspre poziția de echilibru spre poziția  $A_2$

## 4.2 Sistem cu un grad de libertate cu excitație exterioară

### 4.2.1 Energia disipată prin frecare uscată la o excitație cinematică armonică

În Fig. 4.2-1 este prezentat modelul corpului punctiform care se deplasează prin alunecare cu frecare uscată pe suprafață plană.

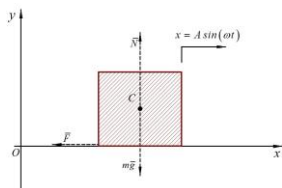


Fig. 4.2-1 Modelul corpului punctiform cu frecare uscată

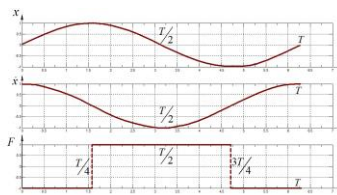


Fig. 4.2-2 Reprezentare în corespondență temporală a mărimilor

În Fig. 4.2-2 sunt reprezentate, în corespondență temporală, mărimile  $x(t)$ ,  $\dot{x}(t)$ ,  $F(t)$ .

### 4.2.2 Echivalența cu amortizarea vâscoasă

Energia disipată în amortizor vâscos cu constanta C este:

$$W_d^v = \pi \omega C A^2 \quad (4.1)$$

## 4.3 Forțe disipative

Avem ecuația diferențială:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad (4.2)$$

## 4.4 Energia disipată la excitație dinamică armonică

$$P(t) = P_0 \sin \omega t \quad (4.3)$$

## 4.5 Concluzii parțiale

Modelarea fizică a sistemelor structurale ce înglobează elemente funcționale cu rol antiseismic și antivibratoriu constituie o etapă importantă în contextul general al acestei teze și se încadrează logic în structura și succesiunea etapelor de cercetare și analiză propuse pentru îndeplinirea obiectivelor inițiale.

## CAP. 5 ANALIZA STRUCTURALĂ ȘI FUNCȚIONALĂ A SISTEMELOR DE IZOLARE ANTISEISMICĂ CU EFECT DE DISIPARE ENERGETICĂ

Un dispozitiv disipator de energie are o caracteristică de rigiditate geometric neliniară și o capacitate mare de disipare a energiei seismice la deformații mici și medii ale structurilor.

### 5.1 Sistem izolator cu elastomeri

În Fig. 5.1-1 este prezentat schematic sistemul de izolare cu reazeme elastomerice ca o soluție pentru reabilitarea și izolarea seismică a unei structuri de viaduct.

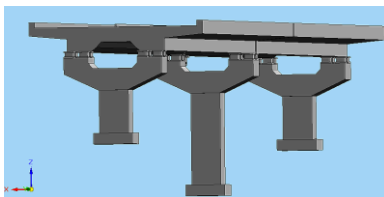
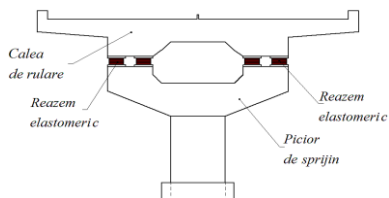


Fig. 5.1-1 Prezentarea schematică a unei structuri de viaduct izolată cu reazeme elastomerice

Fig. 5.1-2 Configurarea unei structuri de viaduct izolată antiseismic cu ajutorul reazemelor

Flexibilitatea laterală a structurii se modifică prin așezarea sistemului izolator între componentele structurale.

### 5.2 Sistem izolator cu elastomeri și reazeme cu alunecare

Prin combinarea proprietăților izolatoare și de disipare ale sistemelor cu alunecare și sistemelor elastomerice se obține un sistem compus care poate asigura o amortizare îmbunătățită la solicitările care acționează direct asupra sistemului structural.

În Fig. 5.2-1 și Fig. 5.2-2 sunt prezentate soluțiile schematică și constructivă de izolare antiseismică utilizând sistemul izolator compus.

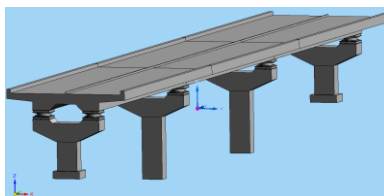
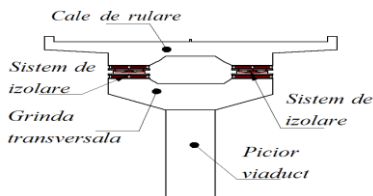


Fig. 5.2-1 Prezentare schematică a unei structuri de viaduct izolată antiseismic

Fig. 5.2-2 Prezentare schematică a unei structuri de viaduct izolată antiseismic

cu sistemul izolator compus din elastomeri și reazeme cu alunecare

cu sistemul izolator compus din elastomeri și reazeme cu alunecare

### 5.3 Sistem izolator bazat pe reazeme cu alunecare și dissipatori hidraulici

Este prezentat un sistem compus de izolare seismică a structurilor de construcții de tip viaduct sau pod care constă în montarea reazemelor cu alunecare împreună cu sisteme disipative hidraulice.

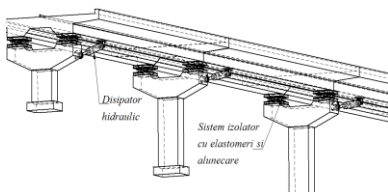


Fig. 5.3-1 Prezentarea schematică a unei structuri de viaduct dotată cu sisteme izolatoare și dissipatori hidraulici

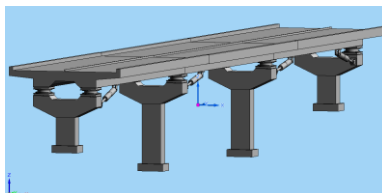


Fig. 5.3-2 Prezentarea modelului 3D al unui viaduct izolat cu sistem compus și dissipatori hidraulici

Modelarea curgerii fluidului a fost realizată cu ANSYS-FLOWIZARD. În Fig. 5.3-3 este prezentată caracteristica forței rezistente.

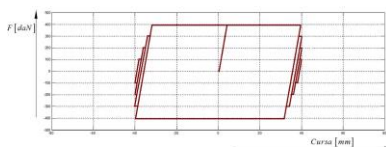
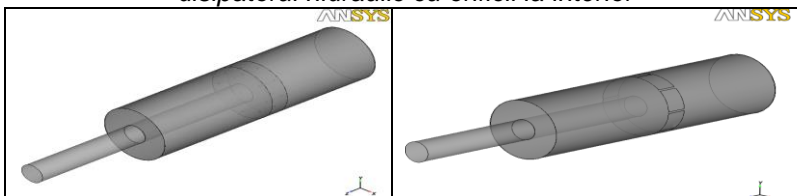


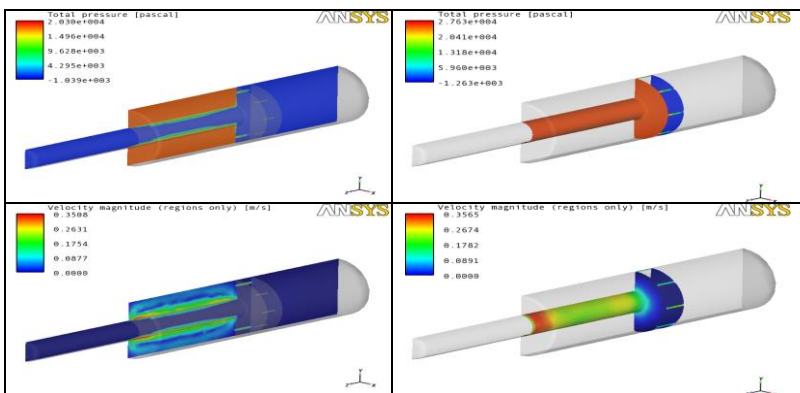
Fig. 5.3-3 Forța rezistentă funcție de cursa pistonului  
Au fost folosite două modele experimentale realizate la scară redusă, cu dimensiunile 202.0 x 202.0 x 1041 mm.

*Tabel 5-1 Rezultate obținute în urma analizei CFD pentru dissipatorul hidraulic cu orificii la interior*





ANALIZA STRUCTURALĂ ȘI FUNCȚIONALĂ A SISTEMELOR DE IZOLARE ANTISEISMICĂ CU EFECT DE DISIPARE ENERGETICĂ



### 5.4 Concluzii parțiale

Analiza structurală și funcțională a sistemelor de izolare împotriva acțiunilor seismice, ținând cont de efectul de disipare energetică a evidențiat gama de avantaje specifică fiecărei categorii majore de izolatori.

## CAP. 6 MODELAREA COMPORTĂRII DINAMICE A SISTEMELOR HIBRIDE DE IZOLARE CU ELASTOMERI ȘI ELEMENTE DISIPATIVE DE ROSTOGOLIRE

Este studiat comportamentul unui sistem izolator inovativ.

### 6.1 Modelarea sistemului izolator pendular cu rostogolire

Un reazem izolator cu rostogolire este constituit din două suprafețe principale de frecare, una de formă sferică și cealaltă plană, între care este poziționată piesa centrală de formă sferică, care permite deplasarea relativă dintre cele două suprafețe principale. [12]

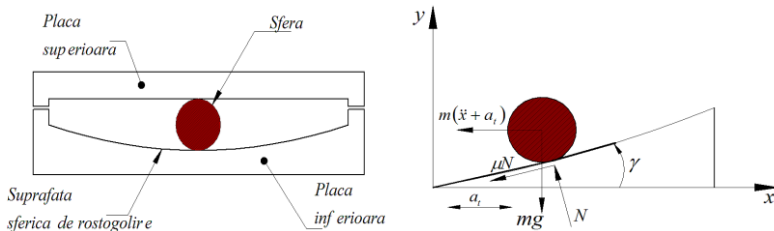


Fig. 6.1-1 Prezentarea schematică a sistemului pendular cu frecare de rostogolire [12]

## 6.2 Modelarea sistemului de izolare cu elemente disipative de rostogolire

O abordare diferită este prezentată în funcționarea sistemelor izolatoare în sensul că este folosită forța de frecare la rostogolirea unei piese metalice de formă sferică poziționată între două suprafețe principale de contact.

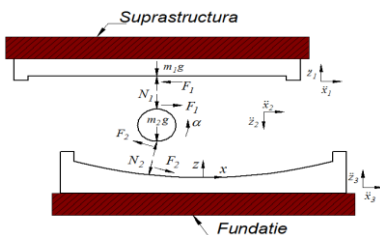


Fig. 6.2-1 Modelarea funcționării sistemului pendular cu frecare de rostogolire cu deplasarea piesei sferice de rostogolire către stânga [12]

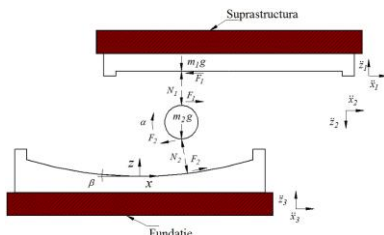


Fig. 6.2-2 Modelarea funcționării sistemului pendular cu frecare de rostogolire cu deplasarea piesei sferice de rostogolire către dreapta [12]

## 6.3 Modelarea sistemului hibrid vâsco-elastic pendular cu elemente disipative de rostogolire

Este conceput un sistem hibrid de izolare și disipare de energie seismică bazat pe folosirea reazemelor cu rostogolire în combinație cu sisteme elastomere de amortizare. [12]

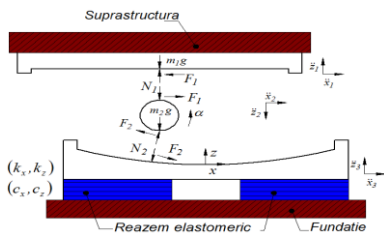


Fig. 6.3-1 Prezentarea sistemului hibrid compus din reazem elastic și dispozitiv izolator cu rostogolire

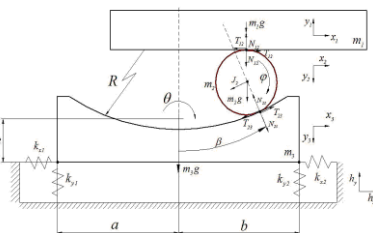


Fig. 6.3-2 Modelarea fizică pentru sistemul hibrid compus din reazem elastic și dispozitiv cu frecare

## 6.4 Simularea comportării în regim dinamic a reazemelor pendulare cu elemente elastomere

În Fig. 6.4-1 sunt prezentate rezultate pentru o excitație seismică.

MODELAREA COMPORTĂRII DINAMICE A SISTEMELOR HIBRIDE DE IZOLARE CU ELASTOMERI ȘI ELEMENTE DISIPATIVE DE ROSTOGILIRE

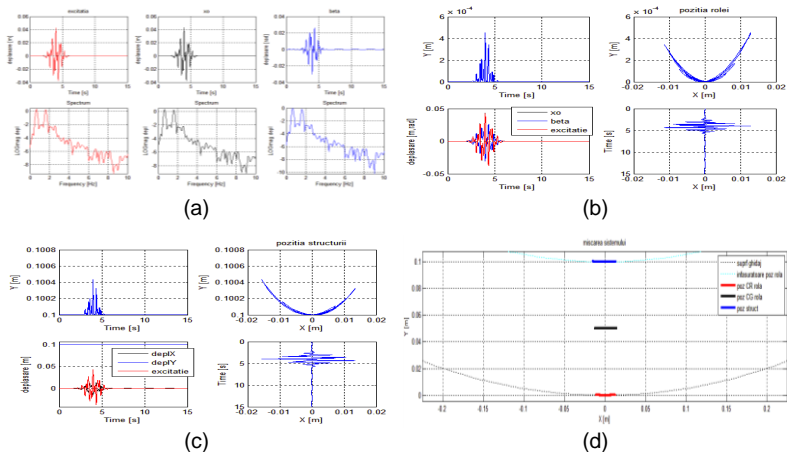


Fig. 6.4-1 Comportarea ansamblului complet elastomer-rolă-structură sub acțiunea unui semnal seismic: (a) evoluția în timp și în frecvență a semnalelor semnificative; (b) evoluția CG al rolei; (c) evoluția structurii; (d) evoluțiile comparative ale CR și CG ale rolei și ale structurii.

În Fig. 6.4-2 sunt prezentate spectrele de amplitudine ale deplasărilor corespunzătoare excitației, răspunsului rolei și răspunsului structurii, reprezentate la scară, pe aceeași diagramă.

Cele trei seturi de diagrame din Fig. 6.4-2 corespund celor trei tipuri de excitații: armonic, impulsiv și seismic.

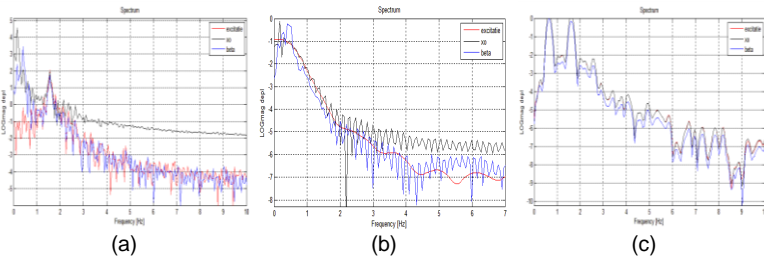


Fig. 6.4-2 Analiza comparativă a spectrelor semnalelor semnificative pentru (a) semnal armonic, (b) semnal tip impuls, (c) semnal seismic

### 6.5 Concluzii parțiale

Sintetizând observațiile rezultate în urma analizelor efectuate pentru fiecare din cazurile considerate în acest capitol se conturează următoarele concluzii parțiale:

1) Mișcarea de tip pendular a elementului activ (în acest caz rolă) contribuie semnificativ la reducerea efectelor induse de perturbația dinamică asupra structurii rezemate.

2) Valorile relativ mari ale parametrului deplasare liniară pe direcție orizontală a structurii rezemate constituie argumentul principal în formularea concluziei conform căreia sistemele pendulare oferă un grad superior de izolare împotriva acțiunilor dinamice.

3) Utilizarea suplimentară a unor elemente sau dispozitive elastomerice oferă un surplus de capacitate de preluare a mișcărilor perturbatoare.

4) Un aspect important în obținerea unor performanțe de izolare maxime îl constituie ordonarea șirului de valori ale frecvențelor proprii pentru toate elementele componente ale întregului ansamblu considerat (fundatie - dispozitiv elastomeric - reazem pendular - structura).

Concluzia finală este că utilizarea suplimentară a elementelor sau dispozitivelor elastomerice în combinație cu reazemele de tip pendular asigură valori superioare ale performanțelor de izolare împotriva acțiunilor dinamice și în special a acțiunilor seismice.

## CAP. 7 CERCETARE EXPERIMENTALĂ

### 7.1 Generalități și ipoteze de lucru

În scopul realizării unei corelații între soluțiile analitice ale ecuațiilor prezentate pe parcursul modelării matematice și comportamentul real al sistemelor de izolare care funcționează pe baza forței de frecare uscate, a fost realizat un stand cu ajutorul căruia au fost posibile efectuarea determinărilor experimentale

Prezentarea schematică a structurii standului experimental utilizat este realizată în Fig. 7.1-1:

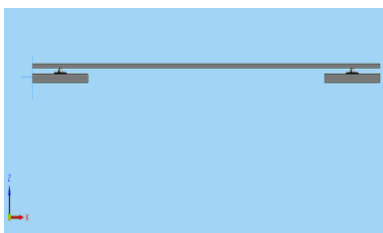


Fig. 7.1-1 Prezentarea schematică a modelului standului experimental utilizat

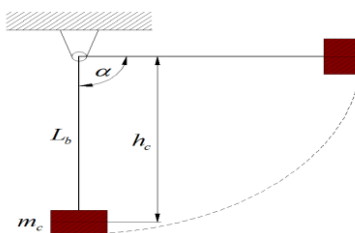


Fig. 7.1-2 Prezentarea schematică a sistemului pendular cu masă constantă de generare a șocului în regim dinamic

## 7.2 Prezentarea sistemului experimental și a aparaturii de măsurare

Dispozitivul izolator constă dintr-un reazem compus dintr-o suprafață sferică principală pe conturul căreia se deplasează prin rostogolire o piesă din oțel de formă sferică.

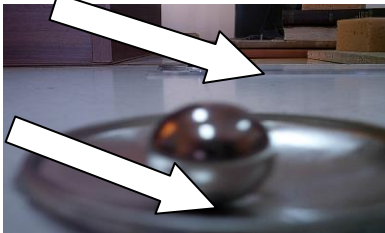


Fig. 7.2-1 Reazeme izolatoare cu frecare de rostogolire montate pe placa de bază

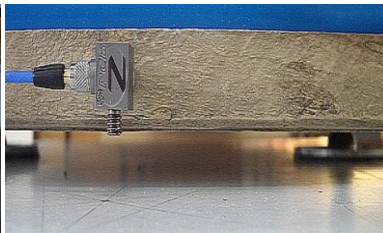
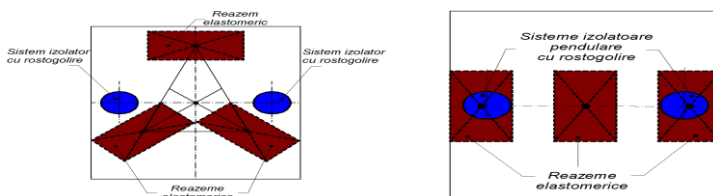


Fig. 7.2-2 Prezentarea standului cu sistemul izolator pendular cu rostogolire în poziție de lucru

## 7.3 Rezultate obținute

Sunt prezentate rezultatele obținute pentru determinările experimentale efectuate pe modelul la scară



a) sistem izolator cu configurație triunghiulară pentru reazemele elastomerice

b) sistem izolator cu configurație liniară pentru reazemele elastomerice

Fig. 7.3-1 Configurația sistemului izolator cu rostogolire și reazeme elastomerice pentru cele două cazuri analizate

- Rezultate experimentale obținute pentru cazul 12

Rostogolirea pieselor sferice din oțel pe suprafață sferică din oțel, situație în care valoarea coeficientului de frecare este cuprinsă în intervalul (0,15:0,18), frecare Coulombiană fără lubrifiere, cu forța de excitație maximă (400 N). Este analizată comportarea sistemului izolator dotat cu reazeme elastomerice în configurație triunghiulară.

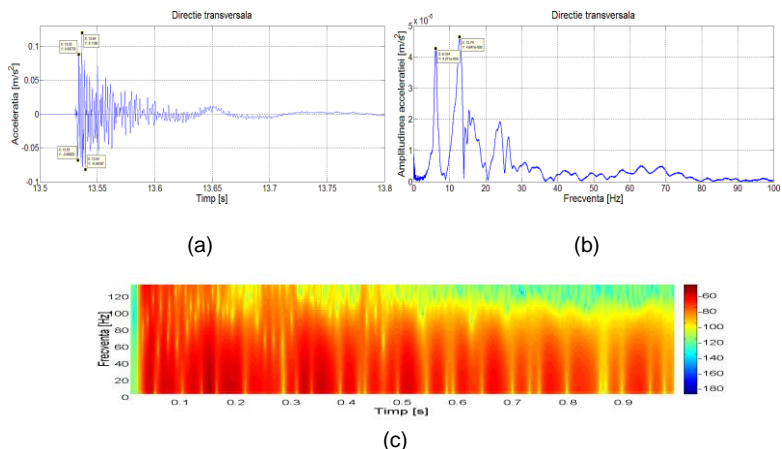


Fig. 7.3-2 Cazul 12 Direcție transversală picior, (a) diagrama accelerație – timp; (b) diagrama amplitudinea accelerației-frecvență; (c) spectrograma frecvență-timp;

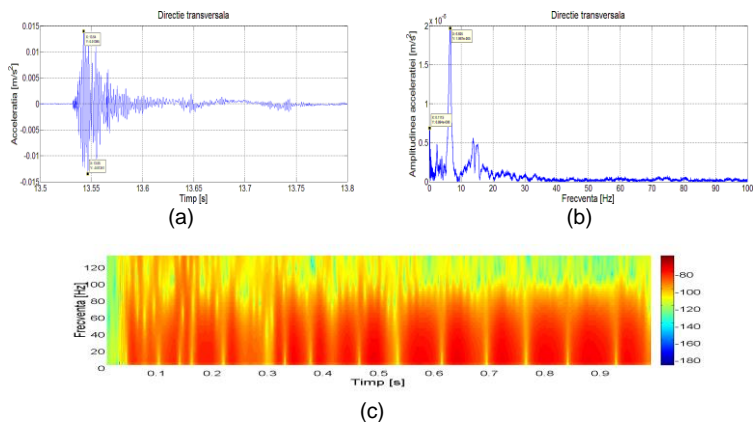


Fig. 7.3-3 Cazul 12 Direcție transversală grindă, (a) diagrama accelerație – timp; (b) diagrama amplitudinea accelerației-frecvență; (c) spectrograma frecvență-timp;

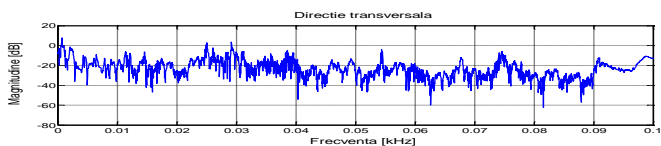


Fig. 7.3-4 Cazul 12 Funcția de Transfer pe direcție transversală picior-grindă

## 7.4 Analiza comparativă a rezultatelor experimentale obținute

Sunt analizate comparativ rezultatele experimentale obținute pe baza semnalelor funcțiilor de transfer reprezentate pe cele trei direcții principale de mișcare

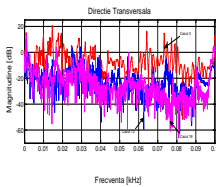


Fig. 7.4-1 Funcțiile de transfer pe direcție transversală, cazurile analizate 3, 12, 19

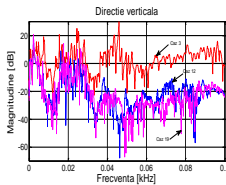


Fig. 7.4-2 Funcțiile de transfer pentru direcție verticală, cazurile analizate 3, 12, 19

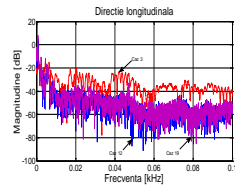


Fig. 7.4-3 Funcțiile de transfer pentru direcție longitudinală

O accentuată tendință de atenuare există pentru toate cele trei cazuri atunci când studiem direcțiile de mișcare a structurii izolate.

## 7.5 Analiza rezultatelor experimentale pe baza valorilor efective obținute pentru amplitudinea accelerației pentru cele două elemente structurale

Pe baza valorilor obținute pentru vârfurile amplitudinii accelerației funcție de frecvență poate fi analizat comportamentul sistemului.

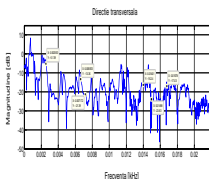


Fig. 7.5-1 Funcția de transfer cazul 12 – direcție transversală

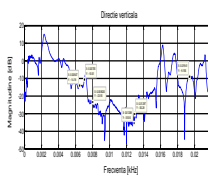


Fig. 7.5-2 Funcția de transfer cazul 12 – direcție verticală

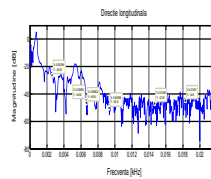


Fig. 7.5-3 Funcția de transfer cazul 12 – direcție longitudinală

## 7.6 Concluzii parțiale

Ansamblul diagramelor obținute prin descompunerea răspunsului sistemului ca urmare a aplicării șocului prin intermediul echipamentului excitator asupra ansamblului structural utilizat în cadrul experimentelor efectuate în teză, au fost evaluate și analizate în funcție de timp și de frecvență, fiind prezentate pentru fiecare caz în parte ținând cont de elementul structural analizat și de direcțiile principale de înregistrare a mișcării. Au fost evidențiate în principal valorile maxime ale amplitudinilor mișcărilor înregistrate atât la nivelul piciorului de sprijin cât și la nivelul grinzii.

Analiza experimentală a fost efectuată pe un sistem cu dimensiuni reduse, în condiții de laborator, pe baza unui set de ipoteze simplificatoare prezentate în paragrafele anterioare ale acestui capitol.

Avantajul acestei abordări este susținut de posibilitățile multiple de simulare a unor situații reale de solicitări dinamice, de stări de încărcare statică/dinamică, de scheme și configurații structurale și funcționale ale sistemelor de rezemare.

Astfel, transferul rezultatelor experimentale efectuate pe modele reduse către sistemele reale (prin modelele matematice și informatice asociate acestora) este asigurat prin funcțiile de transfer corespunzătoare.

## **CAP. 8 CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE**

### **8.1 Concluzii generale**

Pe baza cercetărilor efectuate în vederea elaborării tezei de doctorat se pot evidenția metodele de izolare ale structurilor de construcții care sunt folosite la ora actuală pe plan mondial. În cadrul tezei au fost propuse soluții compuse de izolare care pot asigura un comportament vizibil îmbunătățit pentru structurile izolate atunci când acestea sunt solicitate în regim dinamic de către o acțiune seismică. Astfel, sistemele izolatoare care funcționează pe baza forței de frecare uscate, pot funcționa în tandem cu sistemele elastomerice, în completarea acțiunii izolatoare și pentru limitarea deplasărilor pe reazeme.

Autorul propune o soluție complexă, compusă dintr-un aparat de reazem cu rostogolire și un set de elemente elastomerice cu rol funcțional de a deconecta suprastructura de baza de rezemare (fundatie). Această soluție inovativă a fost modelată și implementată într-o aplicație informatică cu scopul testării regimurilor dinamice de funcționare sub acțiunea unor solicitări perturbatoare de tip șoc, vibrație, sau undă seismică.

Rezultatele acestor simulări pe prototip virtual au fost prezentate pe larg în capitolul 6 al tezei, împreună cu un ansamblu de concluzii parțiale, care evidențiază aspectele relevante ale dinamicii sistemului teren - sistem izolator - structură.

De asemenea, soluția de izolare dinamică propusă de autor a fost realizată la scară redusă și testată în condiții de laborator. Ansamblul concluziilor parțiale corespunzătoare fiecărei etape a tezei asigură baza teoretică de fundamentare a concluziilor generale.

Urmărind succesiunea logică a etapelor și analizând rând pe rând rezultatele parțiale obținute în corelație cu cerințele impuse prin



obiectivele inițiale ale tezei, se pot formula următoarele concluzii generale:

1) ansamblul elastomer - reazem pendular cu rostogolire asigură performanțe superioare fiecăruia dintre cele două sisteme constitutive.

2) complexitatea structurală relativ redusă a soluției propuse o impune ca o variantă viabilă în condițiile unor solicitări dinamice intense și variate.

3) evoluțiile în regim dinamic, atât pentru sistemul virtual (computerizat), cât și pentru cel real, indică un nivel superior de compatibilizare între acțiunea perturbatoare și răspunsul structural, cu reducerea semnificativă a efectelor dinamice în structura izolată.

4) evaluarea și analiza rezultatelor pentru ambele tipuri de teste (simulare, experiment real) cu precădere în domeniul frecvență oferă avantaje multiple; dintre acestea sunt subliniate următoarele:

a) posibilitatea utilizării unor semnale aleatoare corespunzătoare acțiunilor de tip undă seismică;

b) simularea cât mai reală a unor excitații de tip șoc prin utilizarea compoziției spectrale în definirea semnalului de intrare;

c) evidențierea aspectelor neliniare atât în comportarea sistemului de izolare, cât și în răspunsul structurii izolate.

5) Obiectivele principale stabilite inițial au constituit etape esențiale în configurarea, implementarea și analiza sistemelor inovative de izolare propuse de către autor, astfel încât îndeplinirea acestora a condus în mod direct la atingerea scopului acestei teze de doctorat și anume: optimizarea structural - funcțională a reazemelor pendulare cu rostogolire prin utilizarea unui set de elemente elastomerice cu rolul minimizării răspunsului structural prin armonizarea caracteristicii dinamice globale a sistemului de izolare cu compoziția spectrală a acțiunilor perturbatoare intense și variate.

## 8.2 Contribuții personale

Principalele contribuții relevante ale către autorului prezentei teze de doctorat pot fi grupate astfel:

- a) Realizarea unei analize critice, multicriteriale a stadiului actual în domeniul izolării împotriva acțiunilor seismice, în general și al utilizării sistemelor compuse de tip elastomer - disipator hidraulic - reazem pendular cu frecare uscată, în special.

- b) Propunerea unor variante compuse ale sistemelor de izolare și disipare de energie pretabile a fi folosite la izolarea structurilor de construcții de tip pod sau viaduct.

- c) Realizarea unor tipologii de modelare cu elemente finite pentru elementele sistemelor disipative hidraulice folosite la consolidarea structurilor de tip pod sau viaduct.

- d) Propunerea unei metodologii privind calculul, analiza numerică, detalierea și aplicarea în practică a sistemelor de izolare cu frecare de alunecare pe suprafață sferică și sisteme de izolare cu frecare de rostogolire pe suprafață sferică.
- e) Realizarea unui set de încercări experimentale realizate pe elemente structurale la scară redusă pentru evidențierea principalilor parametri de mișcare care intervin atunci când structura este solicitată în regim dinamic de către o anumită acțiune dinamică.

### **8.3 Direcții viitoare de cercetare**

Direcțiile viitoare de cercetare completează în mod firesc ansamblul format din scopul, obiectivele și rezultatele acestei teze prin faptul că rezultatele finale obținute și prezentate în lucrare oferă bazele unei dezvoltări viitoare a suportului teoretic și practic care să asigure implementarea pe scară largă a sistemelor inovative de izolare propuse de autor.

În acest sens sunt propuse următoarele direcții principale de continuare a cercetărilor și anume:

- Fundamentarea metodologiei de corelare parametrică a funcțiilor de transfer corespunzătoare sistemului virtual și celui real;
- Definitivarea soluției tehnice și validarea finală pe model la scară reală.

---

**BIBLIOGRAFIE**

- [1] Axinti G., Șcheaua F., Dynamic Hydraulic Dampers for Earthquake Isolated Structural Systems, Romanian Journal of Acoustics and Vibration (RJAV), Volume VII, Issue 1, page 59-62, 2010
- [2] Bratu, P., Vibrațiile sistemelor elastice, Editura Tehnică, București 2000
- [3] Dimoiu, I., Inginerie Seismică, Editura academei Române, ISBN 973-27-0708-9
- [4] Ene, G., Pavel, Cr., Introducere în tehnica izolării vibrațiilor și a zgomotului, Editura Matrixrom, 2013
- [5] Fenz, D.M., Constantinou, M.C., Earthquake Engineering Structural Dynamics, 2006
- [6] Ghindea C., L., Studiul unor metode de atenuare a acțiunii seismice asupra construcțiilor, Rezumat teza de doctorat, București 2009
- [7] Gillich G. R., "Dinamica masinilor – Vibratii" , Editura AGIR, Bucuresti, 2006
- [8] Gillich, G. R., Dinamica mașinilor, (Machine dynamics), Editura AGIR, București, 2003
- [9] Horea S., Elemente de dinamica structurilor, Editura Tehnică, București, 1983
- [10] Ivan M., Vulpe A., Bănuț V., Statica, Stabilitatea și Dinamica Construcțiilor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [11] Jurcău C. Ș., Studii teoretice și experimentale asupra izolatorului pendular antiseismic cu frecare, Teză de doctorat, Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița, 2012
- [12] Lee G. C., Ou Y. C., Song J., Niu T., Liang Z., A roller seismic isolation bearing for highway bridges, A-14-a Conferință Internațională de Inginerie Seismică Beijing, China, 2008
- [13] Lee, G. C., Liang, Z., Niu, T. C., Seismic isolation bearing, US Patent No. 6971795 B2, 2005
- [14] Lee, G. C., Liang, Z., Niu, T.C., Seismic Isolation Bearing, US Patent Application Publication, Pub. No. US2003/0099413 A1, Pub. Date: May 29, 2003
- [15] Legendi, A., Pavel, Cr., Dinamica mecanismelor, Editura Matrixrom, 2008
- [16] Pavel Cr., Constantinescu Al., Vibrații mecanice, Editura Matrixrom, Bucuresti, 2010.
- [17] Șerban V., „Soluții sigure, rapide și ieftine de consolidare a clădirilor pentru a rezista la viitoarele cutremure vrâncene” – Tribuna Construcțiilor, Nr. 37, 2004
- [18] Vasilescu, A., Mecanica Fluidelor, Galați 1979
- [19] <http://www.alga.it>
- [20] \*\*\*,[http://www.rjwatson.com/eqs\\_bearing.htm](http://www.rjwatson.com/eqs_bearing.htm)
- [21] \*\*\*,<http://www.scribd.com>
- [22] \*\*\*,<http://bssc.nibs.org>
- [23] \*\*\*,<http://www.conservationtech.com>