

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de Inginerie



REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

ANALIZA DINAMICĂ A COMPORTĂRII IZOLATORILOR DIN ELASTOMERI LA ACȚIUNI SEISMICE

Doctorand

Ing. Maria-Aurora POTÎRNICHE

**Conducător științific
Referenți științifici**

Prof.univ.dr.ing.dr.h.c. Polidor-Paul BRATU
Prof.univ.dr.ing. Ana-Maria GRĂMESCU
Prof.univ.dr.ing. Andrei VASILESCU
Conf.univ.dr.ing. Nicușor DRĂGAN

Seria I6: Inginerie mecanică Nr. 9

GALAȚI

2013

Seriile tezelor de doctorat sustinute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul **ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Domeniul **ȘTIINȚE ECONOMICE**

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**

Domeniul **ȘTIINȚE UMANISTE**

- Seria U 1: **Filologie-Engleză**
- Seria U 2: **Filologie-Română**
- Seria U 3: **Istorie**



ROMÂNIA
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

DECIZIA

nr. 2549 / 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. POTÎRNICHE G. MARIA-AURORA**, domeniul **Inginerie mecanică**, în următoarea componență :

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Președinte | Conf.univ.dr.ing. Cristian SIMIONESCU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați |
| 2. Conducător de doctorat | Prof.univ.dr.ing. Polidor-Paul BRATU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați |
| 3. Referent oficial | Prof.univ.dr.ing. Ana-Maria GRĂMESCU
Universitatea „Ovidius” din Constanța |
| 4. Referent oficial | Prof.univ.dr.ing. Andrei VASILESCU
Universitatea Tehnică de Construcții din București |
| 5. Referent oficial | Conf.univ.dr.ing. Nicușor DRĂGAN
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. Iulian Gabriel BÎRSAN



CUPRINS

DECIZIA.....	3
INTRODUCERE.....	7
CAPITOLUL I	
STADIUL ACTUAL PRIVIND DEZVOLTAREA INOVATIVĂ A SISTEMELOR ANTISEISMICE ELASTOMERICE	8/11
1.1 Introducere.....	
1.2 Stadiul actual în domeniul utilizării sistemelor antiseismice elastomerice.....	
1.3 Scopul și obiectivele tezei.....	
CAPITOLUL II	
CARACTERIZAREA STRUCTURAL-FUNCȚIONALĂ ȘI ANALIZA CERINȚELOR DE PERFORMANȚĂ PENTRU SISTEME ANTISEISMICE ELASTOMERICE.....	9/21
2.1 Caracteristici fizico-mecanice ale elastomerilor.....	9/21
2.2 Dependența proprietăților fizico-mecanice ale cauciucului de parametri funcționali ai sistemului mecanic	9/25
2.2.1 Dependențele de frecvență și temperatură.....	
2.2.2 Efecte nelineare.....	
2.3 Caracteristici constructive și funcționale ale sistemelor de izolare seismică din elastomeri.....	10/30
2.3.1 Sistem de izolare seismică din elastomeri.....	
2.3.2 Sistem de izolare seismică din elastomer cu densitate mare.....	
2.3.3 Sistem de izolare seismică din elastomer cu inimă de plumb.....	
2.3.4 Sistem de izolare seismică hibrid cu inimă de plumb.....	
2.3.5 Sistem de izolare seismică cu alunecare.....	
2.3.6 Sistem de izolare seismică hibrid elastic-alunecare.....	
2.3.7 Sistem de izolare seismică cu regulator de energie a masei.....	
2.4 Caracteristici disipative ale elementelor elastomerice utilizate în izolarea dinamică.....	10/35
2.4.1 1.1.1 Teoria frecării solide.....	
2.4.2 1.1.2 Tipuri de amortizare.....	
2.4.3 1.1.3 Flexibilitate-amortizare.....	
2.4.4 1.1.4 Lagăre din cauciuc cu amortizare mare.....	
2.4.5 1.1.5 Caracteristicile tehnice ale izolatoarelor cu amortizare mare	
2.4.6 1.1.6 Disiparea energiei într-un mediu vâscoelastic solicitat armonic.....	
2.5 Modele reologice și ecuații constitutive.....	11/41
2.5.1 1.1.7 Modelul corpului perfect elastic.....	
2.5.2 1.1.8 Modelul corpului perfect vâscos.....	
2.5.3 1.1.9 Modelul vâsco-elastic Voigt-Kelvin.....	
2.5.4 1.1.10 Modelul vâsco-elastic Maxwell.....	
2.5.5 1.1.11 Modelul linear generalizat.....	
2.5.6 1.1.12 Modele cu mai multe elemente.....	
2.5.7 1.1.13 Mediul ereditar linear Volterra-Bolzmänn.....	
2.5.8 Mediul ereditar nelinear.....	
2.6 Degradarea structurală și funcțională a elastomerilor sub influența factorilor externi.....	12/60
2.6.1 Influențe termice asupra caracteristicilor funcționale ale elastomerilor....	
2.6.2 Influența fenomenului de fluaj asupra caracteristicilor elastomerilor.	
2.6.3 Modificarea caracteristicilor elastomerilor în timp.....	

CAPITOLUL III

PROBLEMATICA COMPATIBILIZĂRII IZOLATOARELOR SEISMICE CU SISTEMELE STRUCTURALE ȘI CU SOLICITĂRILE DINAMICE PERTURBATOARE.....

		12/65
3.1	Configurații geometrice și masice ale structurilor care necesită izolare dinamică..	12/65
3.1.1	Model dinamic general.....	
3.1.2	Modele dinamice particulare rezultate prin decuplarea sistemului general al ecuațiilor de mișcare.....	
3.2	Acțiuni perturbatoare în dinamica structurilor.....	13/67
3.2.1	Categorii de acțiuni seismice pentru zone cu risc și vulnerabilitate...	13/67
3.2.2	Solicitări dinamice non-seismice cu acțiune intensă și variată.....	14/74
3.3	Izolarea bazei structurilor.....	14/74
3.3.1	Noțiuni generale.....	
3.3.2	Principiul izolării bazei.....	
3.4	Influența parametrilor fizici asupra gradului de izolare.....	16/81
3.5	Factori care compromit performanța de izolare a vibrațiilor.....	16/83
3.5.1	Rigiditatea structurii suport.....	16/83
3.5.2	Rezonanțele structurii suport.....	17/84
3.5.3	Oscilațiile parazite de balans.....	17/84
3.5.4	Unde staționare.....	17/85

CAPITOLUL IV

STABILIREA CORELATIVĂ ȘI OPTIMALĂ A SISTEMELOR DE IZOLARE A BAZEI...

		17/87
4.1	Cerințe globale de performanță privind reducerea efectelor acțiunilor dinamice asupra structurilor.....	17/87
4.2	Cerințe de compatibilizare și optimizare parametrică pentru sistemele de izolare elastomerice.....	18/92
4.2.1	Analiza corelativă a performanțelor statice.....	
4.2.2	Analiza corelativă a performanțelor dinamice.....	
4.2.3	Cerințe esențiale privind implementarea sistemelor de izolare a bazei.....	
4.3	Cerințe esențiale referitoare la configurația globală a ansamblului structură-izolator-teren.....	24/111
4.4	Conceptul de compatibilizare acțiune-izolator-răspuns și principii specifice...	25/113

CAPITOLUL V

CARACTERIZARE EXPERIMENTALĂ A ELEMENTELOR/SISTEMELOR DE IZOLARE ELASTOMERICE.....

		25/115
5.1	Evaluarea caracteristicilor statice ale elementelor antivibratorii din elastomeri.....	25/115
5.1.1	Evaluarea parametrilor geometrici.....	
5.1.2	Determinarea coeficientului de formă.....	
5.1.3	Determinarea parametrilor materialului de bază.....	
5.1.4	Încercarea la solicitările cvasistatice de forfecare și compresiune....	
5.2	Evaluarea caracteristicilor dinamice ale elementelor antivibratorii din elastomeri..	26/121
5.2.1	Considerații generale	
5.2.2	Parametri dinamici, regim staționar.....	
5.2.3	Determinarea parametrilor dinamici pe cale experimentală.....	
5.3	Ipoteze de bază în utilizarea elementelor elastomerice.....	26/125
5.4	Caracterizarea structurală și funcțională a elementelor elastomerice cu amortizare superioară.....	27/127
5.5	Evaluarea instrumentală a caracteristicilor de lucru în regim static și dinamic pentru un set complet de elemente vâsco-elastice	28/129
5.6	Concluzii parțiale.....	31/136

CAPITOLUL VI

COMPATIBILIZAREA CORELATIVĂ ȘI OPTIMALĂ A ANSAMBLULUI TEREN-IZOLATOR-STRUCTURĂ

		32/137
6.1	Evaluarea critică a structurilor supuse procesului de compatibilizare.....	32/137

AURORA POTÎRNICHE
ANALIZA DINAMICĂ A COMPORTĂRII IZOLATORILOR DIN ELASTOMERI LA ACȚIUNI SEISMICE

6.2	Bazele teoretice ale compatibilizării structurale și funcționale.....	33/139
6.2.1	Vibrațiile libere ale sistemelor cu trei grade de libertate dinamică.....	
6.2.2	Vibrațiile forțate ale sistemelor cu trei grade de libertate dinamică...	
6.3	Abordarea reologică generalizată a elementelor elastomerice utilizate în izolarea dinamică – compatibilizarea de tip.....	33/142
6.3.1	Prezentarea modelului.....	
6.3.2	Analiza comportării modelului pentru diferite tipuri de acțiuni.....	
6.4	Evaluări optime ale parametrilor esențiali în procesul de izolare dinamică - compatibilizarea de configurație.....	35/150
6.5	Estimări corelative ale configurațiilor efective de utilizare ale elementelor elastomerice vibroizolatoare - compatibilizarea de formă.....	39/161
6.6	Concluzii parțiale.....	44/171
CAPITOLUL VII		
CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.		
7.1	Concluzii generale.....	45/173
7.2	Contribuții personale.....	46/174
7.3	Direcții viitoare de cercetare.....	46/175
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....		
LISTĂ LUCRĂRI PUBLICATE.....		

INTRODUCERE

Oportunitatea tezei rezultă în urma analizei situațiilor reale existente și a reglementărilor privind protecția populației și a fondului construit împotriva acțiunilor dinamice provocate de undele seismice, vibrații, șocuri.

Necesitatea abordării temei propuse în teză derivă din ansamblul concluziilor rezultate în urma analizei comparative multicriteriale a stadiului actual în domeniul considerat. Aspectele de oportunitate identificate completează ideea conform căreia cercetarea aprofundată a realităților din practica actuală în domeniul protecției structurilor împotriva acțiunilor dinamice variate și intense, prin utilizarea elementelor pe bază de materiale compozite elastomerice, în scopul identificării și fundamentării unor metode avansate de compatibilizare sistemică, este în continuare de actualitate și justifică pe deplin necesitatea tezei.

Obiectivul major și, în esență, scopul tezei este compatibilizarea structurală și funcțională a configurațiilor optime de implementare a sistemelor vâsco-elastice de izolare a bazei ținând cont de evaluările corelative multicriteriale dintre caracteristicile dominante ale acțiunilor dinamice externe și parametrii esențiali ai structurilor izolate.

Obiectivele principale cu rol esențial în îndeplinirea scopului propus al tezei sunt următoarele:

- ❖ analiza comparativă a soluțiilor utilizate în practica actuală în domeniul izolării bazei cu sisteme elastice și disipative folosind un set de criterii corespunzătoare tipologiei acțiunilor dinamice perturbatoare, configurațiilor multiple ale structurilor izolate și interacțiunilor funcționale la interfața structură - izolator - teren.

- ❖ identificarea și analiza opțiunilor de modelare matematică și simulare computerizată a ansamblului structură - sistem de izolare - fundație ținând cont atât de caracteristicile statice și dinamice ale elementelor reologice de bază, cât și de configurațiile geometrice și parametrii inerțiali specifici sistemelor structurale cu comportare de solid rigid.

- ❖ analiza sistemică a răspunsului dinamic al structurii în regim de izolare a bazei folosind seturi multiple de configurații spațiale ale elementelor vâsco-elastice și de caracteristici funcționale specifice acestor elemente.

- ❖ stabilirea și fundamentarea configurațiilor optime de implementare a sistemelor de izolare a bazei pentru structuri rigide monobloc.

- ❖ evaluări directe pe baza încercărilor experimentale atât în ceea ce privește comportarea în regim dinamic a structurilor rigide cu rezemare multiplă, cât și a caracteristicilor elastice și disipative reale pentru diferite categorii de elemente vibro-izolatoare.

- ❖ analiza corelativă în scopul compatibilizării structurale și funcționale a configurațiilor optime de izolare a bazei ținând cont de rezultatele obținute în etapele anterioare pentru parametrii caracteristici ai ansamblului bipolar *acțiune perturbatoare - izolator - răspuns dinamic*.

Teza de doctorat este structurată în șapte capitole, al căror conținut va fi prezentat pe scurt în cele ce urmează.

În **capitolul I** este prezentat stadiul actual privind cercetarea și dezvoltarea inovativă în domeniul sistemelor antiseismice elastomerice.

Capitolul II prezintă atât o caracterizare structural-funcțională a sistemelor antiseismice elastomerice cât și o analiză a cerințelor de performanță pentru aceste sisteme. Capitolul tratează aspecte legate de proprietățile fizico-mecanice ale elastomerilor și dependența acestora de parametrii funcționali ai sistemului mecanic, apoi aspecte privind caracteristicile constructive și funcționale ale sistemelor de izolare seismică din elastomeri și caracteristici disipative ale elementelor elastomerice utilizate în izolarea dinamică. De asemenea, în cadrul acestui capitol sunt prezentate modelele reologice clasice și ecuațiile constitutive care stau la baza schematizării sistemelor de izolare și, în finalul capitolului, sunt tratate și aspecte legate de degradarea structurală și funcțională a elastomerilor sub acțiunea factorilor externi.

Capitolul III se ocupă de problemele compatibilizării izolatoarelor seismice cu sistemele structurale și cu solicitările dinamice perturbatoare. Capitolul prezintă configurațiile geometrice și masice ale structurilor care necesită izolare seismică, apoi se discută despre acțiuni perturbatoare seismice și non-seismice în dinamica structurilor. Prezentul capitol se ocupă și cu

prezentarea aspectelor teoretice privind izolarea bazei structurilor și influența unor factori care compromit performanțele de izolare a vibrațiilor.

În **capitolul IV** se prezintă stabilirea corelativă și optimală a sistemelor de izolare a bazei. Capitolul dezvoltă aspecte legate de cerințe globale de performanță impuse sistemelor de izolare elastomerice, precum și cerințe esențiale referitoare la configurația globală a ansamblului structură-izolator-teren. De asemenea, în prezentul capitol se discută despre conceptul de compatibilizare acțiune-izolator-răspuns și principii specifice.

În **capitolul V** se realizează o caracterizare experimentală a sistemelor de izolare elastomerice. Sunt evaluate caracteristicile statice și dinamice ale elementelor antivibratorii din elastomeri și sunt trecute în revistă ipotezele de bază în utilizarea elementelor elastomerice. Tot în cadrul prezentului capitol se face o caracterizare structurală și funcțională a elementelor elastomerice cu amortizare superioară și sunt evaluate caracteristicile de lucru în regim static și dinamic pentru un set complet de elemente vâsco-elastice.

Capitolul VI se ocupă de compatibilizarea corelativă și optimală a ansamblului teren-izolator-structură. În acest capitol se realizează în debut o evaluare critică a structurilor supuse procesului de compatibilizare, apoi se prezintă bazele teoretice ale compatibilizării structurale și funcționale. În continuare capitolul dezvoltă trei tipuri de abordări ale conceptului de compatibilizare: compatibilizare de tip, de configurație și de formă.

Capitolul VII cuprinde concluzii finale, contribuții personale în domeniul tezei precum și direcții viitoare de cercetare.

CAPITOLUL I

STADIUL ACTUAL PRIVIND DEZVOLTAREA INOVATIVĂ A SISTEMELOR ANTISEISMICE ELASTOMERICE

Majoritatea inginerilor constructori [141], [142], [143] au cunoștințe minime despre ceea ce înseamnă izolarea bazei – un sistem de arcuri instalat la baza unei structuri pentru protecția împotriva daunelor provocate de cutremure. De asemenea, aceștia cunosc puține lucruri despre când și de ce – când utilizăm izolarea bazei și de ce se folosește. Și când se ajunge în această situație, inginerii ori au prea multe informații, ori au prea puține. Atunci când se poate alege un sistem din toate variantele posibile, apare un set de întrebări „cum” – cum să proiectezi sistemul, cum să îl legi de structură, cum să îi evaluezi performanțele, cum să stabilești precis încercările și cum să îl construiești. Și desigur, cât de mult costă.

Cercetările efectuate furnizează inginerilor suficiente mijloace pentru a înțelege modul în care răspunsul dinamic afectează sistemul, dar nu furnizează instrucțiuni despre rezolvarea ecuațiilor neliniare ale mișcării, determinate de răspunsul sistemului. În ingineria structurală, există programe specializate care rezolvă problema în locul inginerului.

Termenul **izolarea bazei** folosește [141], [143] cuvântul **izolare** cu sensul de „condiția de a fi separat” și cuvântul **bază** cu sensul de „parte care suportă sau servește ca fundație pentru un obiect sau o structură” (dicționarul Oxford). În sens literal, structura (o clădire, un pod sau o piesă a unui echipament) este separată de fundația ei. Terminologia inițială de izolarea bazei este din ce în ce mai mult înlocuită cu sintagma **izolarea seismică**, care sugerează că, în unele cazuri, separarea este undeva deasupra bazei – de exemplu, la un pod, suprastructura poate fi separată de structura coloanelor. În alt sens, termenul izolarea seismică este mult mai adecvat pentru a exprima că structura este separată de efectul seismului sau cutremurului.

Oportunitatea acestei teze rezultă în urma analizei situațiilor reale existente și a reglementărilor privind protecția populației și a fondului construit împotriva acțiunilor dinamice provocate de undele seismice, vibrații, șocuri.

Necesitatea abordării temei propuse în teză derivă din ansamblul concluziilor rezultate în urma analizei comparative multicriteriale a stadiului actual în domeniul considerat. Aspectele de oportunitate identificate completează ideea conform căreia cercetarea aprofundată a realităților din practica actuală în domeniul protecției structurilor împotriva acțiunilor dinamice variate și intense, prin utilizarea elementelor pe bază de materiale compozite elastomerice, în scopul identificării și fundamentării unor metode avansate de compatibilizare sistemică, este în continuare de actualitate și justifică pe deplin necesitatea tezei.

Obiectivul major și, în esență, scopul tezei este compatibilizarea structurală și funcțională a configurațiilor optimale de implementare a sistemelor vâsco-elastice de izolare a bazei ținând cont de evaluările corelative multicriteriale dintre caracteristicile dominante ale acțiunilor dinamice externe și parametrii esențiali ai structurilor izolate.

CAPITOLUL II

CARACTERIZAREA STRUCTURAL-FUNCȚIONALĂ ȘI ANALIZA CERINTELOR DE PERFORMANȚĂ PENTRU SISTEME ANTISEISMICE ELASTOMERICE

2.1 Caracteristici fizico-mecanice ale elastomerilor

Comportarea mecanică a cauciucului se înscrie în mecanica mediilor continue deformabile. Adoptarea unui model teoretic al cauciucului presupune stabilirea unor ipoteze care să definească acest model și care să permită construcția ulterioară a unor teorii cât mai complete care să reflecte cât mai fidel datele experimentale [12], [14], [15]. În timp ce teoria deformării statice a cauciucului a atins un grad de coerență și generalitate satisfăcător, o teorie dinamică a deformării cauciucului, adecvată necesităților proiectării amortizoarelor nu este încă definitivată. În calculul dinamic trebuie luați în considerare mai mulți parametri, crește complexitatea

matematică cât și dificultățile experimentale și de aceea teoria dinamică se rezumă la o colecție de înregistrări de date experimentale și de propuneri de metode de calcul cu un grad foarte redus de generalitate.

Ipotezele care definesc un model matematic al cauciucului solicitat static sunt:

- material omogen și izotrop;
- cauciucul este perfect elastic, pentru un interval foarte larg de deformații; curba caracteristică este însă nelineară;
- cauciucul este incompresibil (deformația de volum este nulă).

O particularitate fundamentală a mecanicii cauciucului o constituie variația constantelor fizico-chimice ale materialului, în funcție de compoziția chimică, metoda de încercare, tehnologia de fabricație.

Răspunsul elasto-ereditar al cauciucului la acțiunea forțelor exterioare este exprimat prin diferite relații analitice. Constantele acestor relații sunt caracteristicile fizico-mecanice ale cauciucului: modulul lui Young, modulul de elasticitate la forfecare, modulul volumic, coeficientul lui Poisson. În afara de aceștia se mai disting și alți parametri cum sunt: duritatea cauciucului, coeficientul de frecare, uzura specifică [10].

Aceste caracteristici nu au fost introduse în mod special pentru cauciuc, ci au fost preluate din metodologia de studiu a metalelor. De aceea, este necesar ca în cazul cauciucului să se facă precizările specifice.

2.2 Dependența proprietăților fizico-mecanice ale cauciucului de parametrii funcționali ai sistemului mecanic

Experimental s-a constatat că atât temperatura cât și frecvența vibrației acționează asupra materialelor vâsco-elastice în același sens. De aceea dependențele de frecvență și temperatură trebuie analizate în paralel.

O dată cu creșterea temperaturii se constată o deplasare a curbelor în sensul creșterii pulsației. În acest mod, la o micșorare a temperaturii, se pot obține aceleași caracteristici calitative ca și prin creșterea pulsației vibrației.

Pe baza experimentelor s-au constatat diferențe esențiale în comportarea dinamică a diferitelor mărci de cauciuc.

De asemenea, cercetările experimentale au reliefat o scădere a caracteristicilor de amortizare a cauciucului o dată cu creșterea pulsației.

Nelinearitatea elementelor elastice se poate datora diferitelor cauze: asimetria încărcării, particularitățile geometrice ale elementului de cauciuc, tixotropia cauciucului.

2.3 Caracteristici constructive și funcționale ale sistemelor de izolare seismică

Izolarea seismică utilizând sisteme de izolare din elastomeri se realizează prin inserarea între infrastructură (fundamentație) și suprastructură (clădire) a unor elemente flexibile care să preia mișcarea seismică și să disipeze energia astfel încât podul să nu fie avariat. Există diferite sisteme de izolare seismică care se proiectează și construiesc în funcție de: mărimea structurii care trebuie să fie izolată din punct de vedere seismic, complexitatea structurii, gradul de încărcare (orizontal, vertical, longitudinal, transversal), zona seismică în care se amplasează structura. Pentru a reduce deformarea puternică pe verticală a sistemelor de izolare seismică din elastomeri acestea sunt armate cu elemente metalice, în general sub formă de plăci subțiri din oțel, dispuse în plan orizontal. Această soluție influențează în mică măsură capacitatea de deformare în plan orizontal.

În teză s-a făcut o descriere pe larg a unor sisteme de izolare seismică, cu evidențierea avantajelor și dezavantajelor pe care le prezintă fiecare.

2.4 Caracteristici disipative ale elementelor elastomerice utilizate în izolarea dinamică

Dintre cele două componente principale ale unui sistem de izolare [143], flexibilitatea și amortizarea, prima are cel mai mare efect în modificarea răspunsului, în special dacă clădirea ridicată pe un sistem de izolare are o perioadă mai mică de 0.7 secunde.

Tabelul 2.2 listează coeficienții de forfecare a bazei și deplasările pentru o structură dintr-o zonă cu seismicitate ridicată cu efecte de falie apropiată. În termeni de deplasări:

- dacă structura este rigidă, cu o perioadă de 0.5 secunde, un sistem de izolare cu o amortizare de 5%, cu o perioadă de 2 secunde va reduce coeficientul de la 1.76 la 0.57, o reducere de 3 ori. Dacă amortizarea sistemului este mărită de la 5% la 20%, coeficientul scade la valoarea 0.38, la două treimi din valoarea amortizării de 5%.

- dacă structura este mai elastică, cu o perioadă de 1 secundă, sistemul de izolare cu 5% amortizare cu o perioadă de 2 secunde va reduce coeficientul de la 1.15 la 0.57, o reducere de 2 ori. Efectul creșterii amortizării de la 5% la 20% rămâne același, coeficientul reducându-se la 0.38, adică două treimi față de valoarea amortizării de 5%.

Reducerea în accelerațiile de răspuns corespunzătoare elasticității sistemului de izolare depinde de rigiditatea clădirii dar reducerea corespunzătoare amortizării este independentă de rigiditatea acesteia.

Tabelul 2.2 Efectul flexibilității și amortizării [141]

	Coeficientul de forfecare a bazei	Deplasarea totală
Structură cu bază fixă		
Perioada 0.5 secunde	1.76	4.30" (109) mm
Perioada 1 secundă	1.15	11.21" (285) mm
Structură izolată cu perioada 2 secunde		
5% amortizare	0.57	22.43" (570) mm
10% amortizare	0.48	18.69" (475) mm
20% amortizare	0.38	14.96" (380) mm

În termeni de deplasare, efectul elasticității prin creșterea perioadei la 2 secunde mărește deplasările, dar amortizarea le reduce. Pentru structura cu bază fixă, deplasarea are loc în centrul de masă al clădirii, aproximativ la două treimi din înălțimea acesteia. Pentru clădirea izolată, majoritatea deplasărilor au loc în planul de izolare, cu transmitere mai mică în interiorul structurii.

Termenul de element de izolare din cauciuc cu amortizare mare se aplică elementelor din elastomeri unde elastomerul folosit (cauciuc natural sau sintetic) asigură o cantitate de amortizare semnificativă, de regulă 8% până la 15% din amortizarea critică. Aceasta în comparație cu amestecurile de cauciuc uzuale care asigură o amortizare de aproximativ 2%.

Amortizarea suplimentară este produsă prin modificarea amestecurilor de cauciuc și a densității moleculelor pentru a produce curba histerezis în cauciuc [10], [143]. De aceea

amortizarea furnizată are trăsătura caracteristică de histerezis (dependență de deplasare). Pentru majoritatea amestecurilor HDRB, componenta vâscoasă a amortizării (dependența de viteză) rămâne relativ mică (2% până la 5% din amortizarea critică).

Amortizarea furnizată de histerezisul cauciucului poate fi folosită la calcul, prin adoptarea conceptului de "amortizare vâscoasă echivalentă" calculată din suprafața curbei histerezis măsurată, așa cum se face pentru elementele LRB. În ceea ce privește elementele LRB, amortizarea efectivă este în jur de 15% la eforturi mici (25% la 50%) reducându-se la 8%-12% pentru eforturi de 100%, deși anumite amestecuri sintetice pot furniza 15% sau mai multă amortizare la eforturi mari.

Pentru calcul, amortizarea este obținută din tabele, ca amortizare vâscoasă echivalentă pentru un anumit amestec [142]. Capacitatea de încărcare pentru aceste lagăre se bazează pe aceleași formule folosite la sistemele din elastomeri.

Sistemele de izolare cu amortizare mare sunt făcute din amestecuri speciale din elastomeri care asigură o amortizare echivalentă de la 10% până la 20% [141]. Elastomerul are o comportare histeretică, cum se arată în figura 2.26.

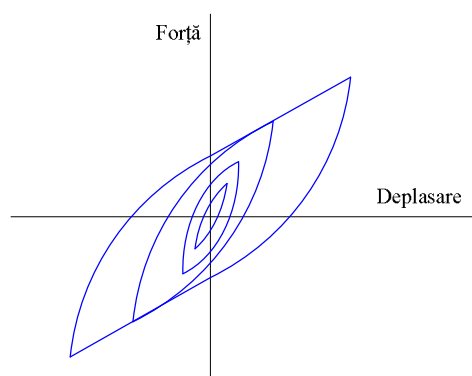


Fig. 2.26 Diagrama histerezis la un cauciuc cu amortizare mare [141]

Deși caracteristicile sistemelor de izolare din cauciuc cu miez din plumb rămân relativ constante cu trecerea anilor, s-au făcut în mod continuu cercetări pentru dezvoltarea componentelor din cauciuc cu mare amortizare. Aceste componente sunt specifice fiecărui fabricant și sunt în funcție de amestecurile de cauciuc și de tehnologia de fabricație.

2.5 Modele reologice și ecuații constitutive

Domeniul larg de folosire a cauciucului și posibilitatea de utilizare a relațiilor matematice deja existente au determinat numeroase cercetări teoretice și experimentale și au creat bazele necesare pentru dezvoltarea în continuare a cercetărilor privind cauciucul ca material elasto-ereditar.

Cercetările care se efectuează au ca scop elaborarea unor relații analitice dintre tensiune și deformație care să țină seama de toți factorii influenți. Se caută găsirea unor modele de calcul care să corespundă cât mai precis fenomenelor care au loc în timpul deformației cauciucului.

Experiența a dovedit că materialul cauciuc nu respectă legea lui Hooke, că în procesul de deformație a cauciucului joacă un rol important factorul timp. La cauciuc s-a constatat puternic apariția fenomenelor de relaxare și curgere lentă (fluaj). De aceea, pentru cauciuc noțiunile de tensiune și deformație trebuie privite ca mărimi la un moment dat.

Studiul fizicii deformației elastomerilor (deci și a cauciucului) a scos în evidență comportarea vâsco-elastică a acestora.

În baza teoriei lineare vâsco-elastice, reacțiunea mediului la acțiunea forței poate fi obținută printr-o combinație dintre comportarea elastică lineară și comportarea vâscoasă lineară.

În sistemul elastic unidimensional, în baza legii lui Hooke, se poate scrie:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.37)$$

în care σ = tensiunea, E = modulul de elasticitate longitudinal, ε = deformația relativă

În sistemul vâscos linear, în baza legii lui Newton, se scrie relația:

$$\sigma = \eta\dot{\varepsilon} \quad (2.38)$$

în care η = coeficientul de viscozitate, $\dot{\varepsilon}$ = viteza deformației relative.

În cele ce urmează, în teză au fost prezentate principalele modele referitoare la comportarea vâsco-elastică a mediului.

2.6 Degradarea structurală și funcțională a elastomerilor sub influența factorilor externi

Proprietățile de îmbătrânire ale izolatorilor [12]*** pot fi evaluate prin testul la îmbătrânirea accelerată datorată efectului termic.

Rezistența finală a izolatorilor poate fi evaluată prin testul de îmbătrânire datorat efectelor termice accelerate. După îmbătrânirea cu 60 de ani, coeficientul de degradare al rezistenței finale de forfecare este mai mic cu câteva procente comparativ cu proprietățile inițiale.

Încălzirea elementelor de cauciuc de la încărcările ciclice este rezultatul concurenței dintre căldura de histerezis și căldura transmisă mediului înconjurător [24], [25]. Elementul se încălzește până la momentul în care căldura produsă este egală cu căldura cedată mediului.

Apariția căldurii în elementele de cauciuc depinde de mai mulți factori și în primul rând de regimul și condițiile de deformare, dimensiunile și formele elementului de cauciuc, metoda de răcire a instalației, tehnologia de execuție a elementului de cauciuc și de proprietățile fizico-mecanice ale materialului.

Fluajul prin compresiune al HDR depinde de tensiunea (forța) axială și de primul factor de formă. Fluajul la compresiune se amplifică o dată cu mărirea tensiunii axiale și micșorarea primului factor de formă [12]***. Proprietățile de fluaj ale izolatorilor pot fi evaluate prin testele la îmbătrânirea accelerată datorată efectului termic și îmbătrânirea la temperatura mediului ambiant.

Încercările cauciucului pe componentele folosite la elementele de izolare LRB arată o creștere a durității de până la 3 Shore A, după îmbătrânirea dată de efectul termic. Această creștere este echivalentă cu o creștere a modulului de forfecare cu 10% [141], [143]. Creșterea modulului de forfecare va avea un efect mai mic asupra rigidității totale a sistemului de izolare deoarece forța de revenire a miezului este stabilă în timp.

Nu există o bază de date privind măsurătorile directe ale modificării rigidității în timp a sistemelor de izolare din elastomeri. De la fabricarea acestor sisteme s-au făcut pași importanți în protejarea acestora la mediile agresive. Se estimează că modificările rigidității elastomerilor nu vor fi mai mari de 10% pe durata de viață a izolatoarelor. Efectul net asupra rigidității efective a izolatorului la deplasarea seismică va fi aproximativ jumătate din această valoare.

CAPITOLUL III

PROBLEMATICA COMPATIBILIZĂRII IZOLATOARELOR SEISMICE CU SISTEMELE STRUCTURALE ȘI SOLICITĂRILE DINAMICE PERTURBATOARE

Izolarea antivibratorie a construcțiilor [104] are drept scop reducerea la minimum a efectelor vibrațiilor asupra mediului înconjurător.

Studiul izolării antivibratorii are rolul de a arăta prin ce măsuri constructive se poate atinge scopul urmărit, de a stabili parametrii prin care se poate măsura eficiența izolării, de a evita soluții greșite și de a îndruma proiectantul spre metodele cele mai economice în rezolvarea problemei.

3.1 Configurații geometrice și masice ale structurilor care necesită izolare dinamică

Model dinamic general

În continuare se prezintă [15] modelul dinamic al rigidului cu șase grade de libertate dinamică care constau din trei coordonate liniare de translație X , Y , Z ale sistemului de referință fix $OXYZ$ și trei coordonate unghiulare de rotație φ_x , φ_y , φ_z în jurul axelor C_x , C_y , C_z ale sistemului de referință mobil $Cxyz$. Schematizarea din figura 3.1 evidențiază faptul că asupra rigidului cu legături discrete elastice și vâscoase acționează sistemul de forțe dinamice

exterioare \bar{F}_k , $k = 1, 2, \dots, p$, cupluri dinamice de momente \bar{M}_l , $l = 1, 2, \dots, q$, forțe potențiale (gravimetrice și elastice) și forțe vâscoase proporționale cu viteza, care au caracter disipativ.

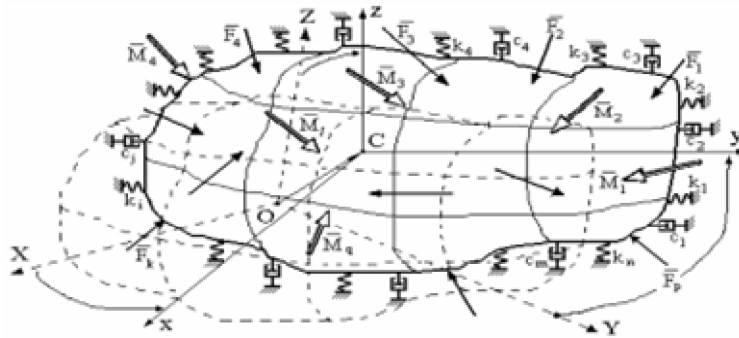


Fig. 3.1 Model dinamic general [15]

Pentru modelul general cu șase grade de libertate al rigidului cu legături elastice, ecuațiile de mișcare ale vibrațiilor libere se pot scrie:

$$\underline{\underline{A}}\underline{\underline{\ddot{q}}} + \underline{\underline{C}}\underline{\underline{\dot{q}}} = \underline{\underline{0}}. \quad (3.1)$$

Sub formă analitică, sistemul este de forma:

$$\begin{cases} m\ddot{X} + X\sum k_{ix} + \varphi_y\sum k_{ix}z_i - \varphi_z\sum k_{ix}y_i = 0 \\ m\ddot{Y} + Y\sum k_{iy} - \varphi_x\sum k_{iy}z_i + \varphi_z\sum k_{iy}x_i = 0 \\ m\ddot{Z} + Z\sum k_{iz} + \varphi_x\sum k_{iz}y_i - \varphi_y\sum k_{iz}x_i = 0 \\ J_x\ddot{\varphi}_x - Y\sum k_{iy}z_i + Z\sum k_{iz}y_i + \varphi_x\sum(k_{iy}z_i^2 + k_{iz}y_i^2) - \varphi_y\sum k_{iz}x_iy_i - \varphi_z\sum k_{iy}z_ix_i = 0 \\ J_y\ddot{\varphi}_y + X\sum k_{ix}z_i - Z\sum k_{iz}x_i - \varphi_x\sum k_{iz}x_iy_i + \varphi_y\sum(k_{iz}x_i^2 + k_{ix}z_i^2) - \varphi_z\sum k_{ix}y_iz_i = 0 \\ J_z\ddot{\varphi}_z - X\sum k_{ix}y_i + Y\sum k_{iy}x_i - \varphi_x\sum k_{iy}z_ix_i - \varphi_y\sum k_{ix}y_iz_i + \varphi_z\sum(k_{ix}y_i^2 + k_{iy}x_i^2) = 0. \end{cases} \quad (3.2)$$

Sistemul de ecuații diferențiale pentru mișcarea forțată a rigidului cu legături elastice se poate scrie:

$$\underline{\underline{A}}\underline{\underline{\ddot{q}}} + \underline{\underline{C}}\underline{\underline{\dot{q}}} = \underline{\underline{f}}. \quad (3.3)$$

În continuare, în teză, au fost dezvoltate din punct de vedere teoretic modele dinamice particulare rezultate prin decuplarea sistemului general al ecuațiilor de mișcare.

3.2 Acțiuni perturbatoare în dinamica structurilor

3.2.1 Categoriile de acțiuni seismice pentru zone cu risc și vulnerabilitate

Sarcinile date de cutremur sunt fenomene dinamice în care mișcările pământului sunt amplificate în timp [141], [142], [143]. Ele sunt nedeterminate în sensul că fiecare eveniment seismic va genera diferite mișcări ale scoarței și acestea vor fi apoi modificate de proprietățile solului prin care aceste mișcări se propagă. Inginerii constructori preferă un număr de sarcini definite, astfel că normele încearcă să reprezinte sarcinile date de cutremur într-o formă accesibilă condițiilor de calcul. Codurile clasifică sarcinile seismice în trei forme, în ordinea creșterii complexității:

❖ *Sarcini statice echivalente*

Acestea intenționează să reprezinte o anvelopă de forfecare a etajelor care vor fi generate de un cutremur cu o probabilitate dată de a avea loc. Majoritatea codurilor obțin aceste sarcini în funcție de structură (definită de perioadă), de tipul de sol pe care este fundația și de riscul seismic (definit de factorul de zonă).

❖ *Spectru de răspuns*

Spectrul de răspuns [141] este o diagramă care trasează răspunsul oscilatorului cu un grad de libertate variind perioada de oscilație la mișcarea specifică a cutremurului. Spectrul de răspuns poate trasa răspunsul în accelerație, viteză sau deplasare.

❖ Istorie în timp

Sarcinile seismice sunt generate într-o clădire de accelerațiile pământului astfel că, în teorie, o sarcină specificată ca istorie în timp a accelerațiilor pământului este mijlocul cel mai corect de reprezentare a acțiunilor seismice. Sunt disponibile proceduri de analiză pentru calculul răspunsului unei structuri cu acest tip de sarcină.

3.2.2 Sollicitări dinamice non-seismice cu acțiune intensă și variată

Prin definiție, sistemul de izolare a bazei separă structura de pământ și astfel trebuie să transmită toate sarcinile de la structură la pământ [142]. Deși izolatorii sunt destinați pentru sarcinile din cutremur, ei trebuie să reziste și la încărcările apărute din alte surse:

❖ Gravitație. Izolatorii trebuie să suporte greutatea permanentă și sarcinile verticale tranzitorii.

❖ Vânt. Toate sistemele de izolare (cu excepția celor care fac parte din interiorul echipamentelor) trebuie să reziste la sarcinile laterale date de vânt. Majoritatea sistemelor sunt proiectate să reziste la sarcinile date de vânt așa că ele nu trebuie să atenueze sarcinile din această sursă.

❖ Mișcările date de condițiile termice sunt des întâlnite la calculul podurilor dar pot afecta și structurile clădirilor mari. Variațiile de temperatură vor cauza deplasări în izolatori. Deoarece mișcările termice au loc relativ frecvent, izolatorii trebuie să reziste la un număr mare de cicluri de deplasare pozitive și negative. Dacă izolatorii sunt montați la temperaturi sub sau peste temperaturi medii, pendularea poate avea loc la deplasare diferită de zero.

❖ Alunecare și contracție. În ceea ce privește temperatura, aceste condiții de solicitare afectează mai mult sistemele de izolare a podurilor. Pentru clădiri, flexibilitatea izolatorilor permite ca planșeele mari din beton să fie construite fără joncțiuni.

❖ Șocul și sarcinile de exploatare. Unele echipamente vor avea alte cazuri de solicitare rezultate din condiții extreme de operare care pot solicita izolatorii.

3.3 Izolarea bazei structurilor

În figura 3.12 este prezentată schema principiului de izolare [10], [14], [15] a bazei unei structuri împotriva efectelor vibrațiilor sau a undelor de tip seismic.

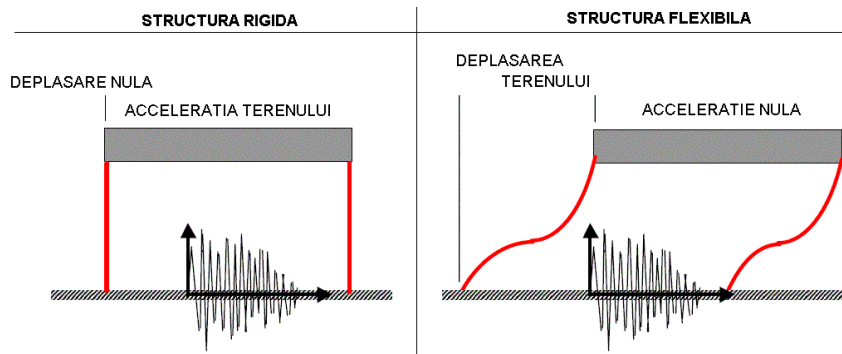


Fig. 3.12 Principiul izolării bazei [104]

Pentru prezentarea, analiza și fundamentarea parametrilor care caracterizează capacitatea unui sistem de izolare împotriva vibrațiilor și a seismelor, este utilizat un **model dinamic cu un singur grad de libertate**.

Ipotezele utilizate pentru obținerea acestui model dinamic sunt următoarele:

- masa m a întregului sistem (echipament, structură) se consideră concentrată în centrul de greutate al acestuia
- structura este rezemată în centrul său de greutate
- sistemul de rezemare și izolare dispune de elemente vâsco-elastice care pot prelua deformațiile după direcția de aplicare a perturbației exterioare - în cazul analizat, după direcția orizontală

• rigiditatea totală a sistemului de rezemare - izolare este k , iar coeficientul total de disipare a energiei este c .

În figura 3.14 au fost reprezentate două sisteme de referință și anume: sistemul inerțial $O_1x_1y_1$ considerat fix și sistemul mobil Oxy legat solidar de bază (fundatie).

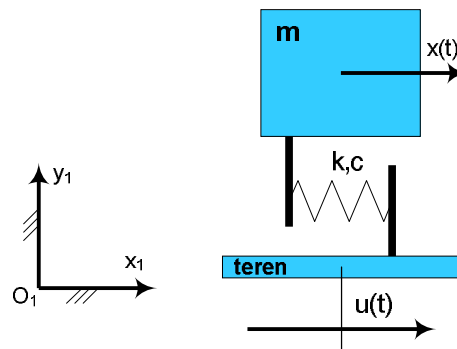


Fig. 3.14 Model cu un grad de libertate pentru studiul izolării bazei [104]

Energia cinetică E , energia potențială de deformare V și funcția disipativă D sunt:

$$E = \frac{1}{2}m(\dot{x} + \dot{u})^2; \quad V = \frac{1}{2}k(x + u)^2; \quad D = \frac{1}{2}c(\dot{x} + \dot{u})^2 \quad (3.24)$$

Folosind ecuațiile lui Lagrange de speța a doua:

➤ formularea în deplasare relativă este:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial E}{\partial x} = - \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial \dot{x}} \quad (3.25)$$

Introducând funcțiile E , V și D în (3.25) obținem:

$$m(\ddot{x} + \ddot{u}) = -kx - c\dot{x} \text{ sau } m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{u} \quad (3.28)$$

ceea ce sugerează că deplasarea relativă $x = x(t)$ a unei structuri de masă m modelată ca în figura 3.14 poate fi obținută prin *fixarea bazei* și acționarea structurii cu o forță orizontală de inerție $-m\ddot{u}$.

Pentru analiza comportării în regim dinamic a modelului considerat se utilizează următoarele mărimi:

• coeficientul de amortizare critică

$$c_{cr} = 2\sqrt{km} = 2mp \quad (3.30)$$

• raportul de amortizare sau fracțiunea din amortizarea critică

$$\zeta = \frac{c}{c_{cr}} \quad (3.31)$$

sau ținând seama de faptul că $m\omega^2 = k$, rezultă

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega} \quad (3.32)$$

unde ω este *pulsatia proprie a sistemului dinamic* în absența amortizării.

O noțiune de interes [15], [104] în analiza performanțelor de izolare împotriva vibrațiilor și/sau undelor de tip seismic este **transmisibilitatea forței**. Această mărime este definită ca **raportul dintre amplitudinea forței transmise și amplitudinea forței excitatoare**. Pentru sistemul considerat (figura 3.14) cele două componente ale forței transmise sunt:

Forța elastică:

$$F_1 = kA_o \sin(\omega t - \theta) \quad (3.46)$$

respectiv

Forța disipativă:

$$F_2 = cA_o \omega \cos(\omega t - \theta) \quad (3.47)$$

acestea fiind defazate cu $\frac{\pi}{2}$.

Amplitudinea forței rezultante F_T este:

$$F_T = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = A_o \sqrt{k^2 + c^2 \omega^2} = A_o k \sqrt{1 + \left(2\zeta \frac{\omega}{p_1}\right)^2} \quad (3.48)$$

Rezultă că *transmisibilitatea forței* este:

$$T = \frac{F_T}{F_o} = A^* \sqrt{1 + \left(2\zeta \frac{\omega}{p_1}\right)^2} = \sqrt{\frac{1 + \left(2\zeta \frac{\omega}{p_1}\right)^2}{\left(1 - \frac{\omega^2}{p_1^2}\right)^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{p_1}\right)^2}} \quad (3.49)$$

Se definește gradul de izolare:

$$I = 1 - T \quad (3.52)$$

sau procentual:

$$I = (1 - T) \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.53)$$

3.4 Influența parametrilor fizici asupra gradului de izolare

În cadrul prezentului subcapitol se face o analiză a comportării din punct de vedere dinamic a sistemului considerat, în funcție de parametrii caracteristici.

Datorită faptului că *raportul de amortizare* este unul dintre parametrii definitorii pentru orice tip de sistem de izolare antivibratorie, se va analiza influența acestui paramteru asupra performanțelor de izolare. Se observă că, o dată cu diminuarea valorii raportului de amortizare, maximele atinse de transmisibilitate scad semnificativ, însă pentru valori ale pulsației normalizate superioare lui $\sqrt{2}$, se obțin valori din ce în ce mai mici ale gradului de izolare.

Cel de al doilea paramteru definitoriu al unui reazem elastic este *rigiditatea totală*. Există o puternică dependență între rigiditate și parametrii de izolare analizați. O dată cu scăderea rigidității se obțin valori din ce în ce mai mici pentru pulsația proprie și, totodată, maximele atinse de transmisibilitate în zona de rezonanță capătă valori din ce în ce mai reduse.

În ceea ce privește masa sistemului, aceasta este în general o constantă a modelului considerat, valoarea ei provenind dintr-o evaluare a structurii care necesită izolare împotriva vibrațiilor sau din activitatea de proiectare pentru un sistem sau echipament nou.

Influența masei sistemului asupra transmisibilității este deosebit de puternică, în sensul creșterii pulsației proprii o dată cu scăderea valorilor transmisibilității, pentru rate de creștere ale masei sistemului relativ mici ca valoare.

3.5 Factori care compromit performanțele de izolare a vibrațiilor

3.5.1 Rigiditatea structurii suport

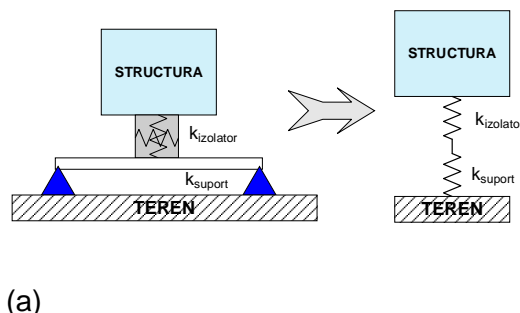


Fig. 3.23 Influența rigidității structurii suport asupra rigidității echivalente

Structura suport poate fi considerată ca un element elastic în serie cu izolatorul efectiv, figura 3.23, (a).

Din relația anterioară se observă că pentru $k_{\text{suport}} = k_{\text{izolator}}$, rigiditatea sistemului elastic de rezemare și izolare contra vibrațiilor capătă doar o jumătate din valoarea inițială a elementului elastic considerat ($k_{\text{efectiv}} = k_{\text{izolator}}/2$). În acest caz, valoarea maximă a deformației - pentru o valoare dată a sarcinii - va fi dublă, ceea ce poate conduce la disfuncționalități.

Pentru a asigura un regim optim de funcționare [104] al sistemului de rezemare și izolare contra vibrațiilor este necesar ca valoarea rigidității suportului (a structurii de prindere – susținere) să fie de cel puțin 10 ori mai mare decât valoarea rigidității elementului elastic utilizat.

3.5.2 Rezonanțele structurii suport

Suportul de prindere – susținere a elementelor elastice este o construcție complexă, care presupune existența unor mase și a unor elemente structurale cu diferite rigidități [104]. Astfel, această structură are o serie de frecvențe proprii (frecvențe corespunzătoare modurilor proprii de vibrație) care, în acest caz, sunt denumite *rezonanțe ale structurii suport*. Valorile efective ale acestor rezonanțe sunt funcții de natura materialului (oțel, aluminiu, lemn), de dimensiunile geometrice ale suportului, de forma acestuia, de soluția de prindere – susținere adoptată.

3.5.3. Oscilațiile parazite de balans

Dacă sistemul considerat este solicitat de o forță pe direcție verticală, aplicată pe direcția centrului de masă, curba transmisibilității va fi aproximativ identică cu cea teoretică [15], [104]. Dacă forța pe direcție verticală este aplicată excentric sau sistemul considerat este solicitat de o forță pe direcție orizontală, alături de mișcarea pe direcția de aplicare a forței vor apărea o serie de mișcări suplimentare, "*parazite*", denumite în continuare generic oscilații de balans. Astfel, diagrama transmisibilității va fi afectată de aceste mișcări suplimentare, în sensul reducerii eficienței izolării pentru frecvențe superioare.

3.5.4 Undele staționare

Fiecare material are o gamă de frecvențe pentru care este "*transparent*" la vibrații. Acest lucru înseamnă că frecvențele din acea gamă sunt transmise de la "*sursă*" către "*receptor*" fără ca parametrii caracteristici să sufere vreo modificare, chiar dacă, conform curbei de transmisibilitate, sistemul de rezemare elastică ar trebui să "*lucreze*" în zona de izolare a vibrațiilor [14]. În general, apariția și manifestarea acestui fenomen depinde de materialul elementelor elastice utilizate și de dimensiunile geometrice și forma acestora. De asemenea, amortizarea este un factor semnificativ în acest sens.

CAPITOLUL IV

STABILIREA CORELATIVĂ ȘI OPTIMALĂ A SISTEMELOR DE IZOLARE A BAZEI

4.1 Cerințe globale de performanță privind reducerea efectelor acțiunilor dinamice asupra structurilor

Aparatele de reazem din elastomeri sunt dispozitive alcătuite dintr-un bloc de elastomeri vulcanizați care poate fi consolidat cu una sau mai multe plăci de oțel [15]. Conform standardului român SR EN 1337-3:2005, ele trebuie proiectate și executate astfel încât mișcările de translație să se poată realiza în orice direcție și mișcarea de rotație să se poată realiza în jurul oricărei axe prin deformare elastică, în vederea transmiterii într-o formă corectă a forțelor de calcul de a o componentă structurală la alta și pentru a permite mișcările de proiectare derivate din calculul structurii. Aparatele de reazem din elastomeri trebuie să funcționeze corect atunci când sunt supuse unor condiții de mediu și întreținere normale, în timpul unei durate de funcționare determinate de o proiectare economică rezonabilă. Atunci când condițiile de mediu și de funcționare sunt excepționale, trebuie luate precauții suplimentare (standard european EN 1337-9).

Conceptul de protecție la acțiuni dinamice aleatoare are la bază limitarea degradărilor, a avariilor, precum și evitarea prăbușirilor elementelor structurale, ale celor nestructurale, ale echipamentelor și instalațiilor în vederea atingerii următoarelor deziderate:

- evitarea pierderilor de vieți omenești sau a rănirii oamenilor;
- evitarea întreruperii activităților și a serviciilor esențiale pentru menținerea continuității vieții sociale și economice în timpul cutremurului și imediat după cutremur;
- evitarea distrugerii sau a degradării unor bunuri culturale și artistice de mare valoare;
- evitarea degajării unor substanțe periculoase (toxice, explozive);
- limitarea pagubelor materiale.

Proiectarea construcțiilor trebuie să țină seama și de comportarea dinamică a sistemului structură - teren, astfel încât să poată fi asigurate cerințele esențiale și cele funcționale din Legea nr. 10/1995 și Directiva Europeană 89/106 privind calitatea în construcții.

Toate construcțiile sunt încadrate în categorii de severitate dinamică, prezentate în tabelul 4.1, diferențiate pe baza exigențelor de funcționare și comportare în timpul și după producerea acțiunii aleatoare. Pentru structurile din clasele I și II se impune rămânerea lor în stare de funcționare în timpul și după producerea acțiunii dinamice aleatoare, în condițiile neafectării și menținerii vieții în interiorul lor. Pentru clădirile din clasa I cu rol "fundamental" este necesară funcționarea obiectivelor pentru menținerea vieții și a acelor care asigură direct funcționalitatea altor echipamente și instalații.

Tabelul 4.1 Categorii de severitate dinamică [104]

Clasa de severitate dinamică	Rolul echipamentului în cadrul sistemului	Criterii de performanță
I	"Fundamental" - caracterizează funcțiunea echipamentelor și/sau a unor echipamente a căror ieșire din funcțiune poate afecta direct protecția clădirii și a mediului la incendiu, emanații de substanțe toxice cu efect biochimic și/sau letal	<ul style="list-style-type: none"> • Integritate fizică totală • Capacitatea funcțională normală și totală • Lipsa riscului de incendiu, protecția vieții și a sănătății ocupanților
II	"Esențial" - caracterizează capacitatea minimă a echipamentului de a menține în funcțiune alte echipamente de importanță semnificativă pentru clădire și ocupanți	<ul style="list-style-type: none"> • Asigurarea integrității fizice limitate pentru menținerea în funcțiune a echipamentelor vitale • Diminuarea riscurilor la incendiu, protecția vieții și a sănătății ocupanților
III	"Selectiv" - caracterizează echipamentele care asigură funcțiile minime de siguranță la foc, igienă și sănătate	<ul style="list-style-type: none"> • Integritate fizică • Capacitate de adaptare și inițializare a funcționării în condiții precizate • Viteza de reacție
IV	"Critic funcțional" - caracterizează echipamentele care trebuie să asigure minimum de funcții ale unei clădiri (energie, apă, transport interior)	<ul style="list-style-type: none"> • Integritate fizică • Funcționare la limita stării ultime de serviciu pentru clădire • Capacitate mărită la reparații și adaptări rapide în caz de avarie

4.2 Cerințe de compatibilizare și optimizare parametrică pentru sistemele de izolare elastomerice

Deformațiile specifice maxime ale cauciucului sunt de peste 500% iar caracterizarea globală a deformațiilor cauciucului propune utilizarea conceptelor și metodelor generale [12], [14], [15] ale teoriei finite nelineare a elasticității. În cele ce urmează se prezintă calculul elementelor de cauciuc cu deformații mari.

a. Solicitarea axială

Curba caracteristică la solicitarea axială se poate da sub forma $\sigma = \sigma(\lambda)$ sau $t = t(\lambda)$, reprezentând respectiv tensiunea reală și cea convențională în funcție de extensia longitudinală $\lambda = \frac{l}{l_0}$ a epruvetei. Notând prin P forța axială și prin A_0 , A = ariile secțiunii transversale înainte, respectiv în timpul deformației (presupuse statice, deci cu o viteză de încărcare $\frac{dP}{dt} \cong 0$),

$$\sigma = \frac{P}{A}; \quad t = \frac{P}{A_0}$$

Condiția de incompresibilitate, în ipoteza că încercarea realizează suficient de exact o stare omogenă de deformație, conduce la:

$$A_0 l_0 = A l$$

de unde

$$\frac{A_0}{A} = \lambda$$

și

$$\sigma = \lambda t$$

(4.22)

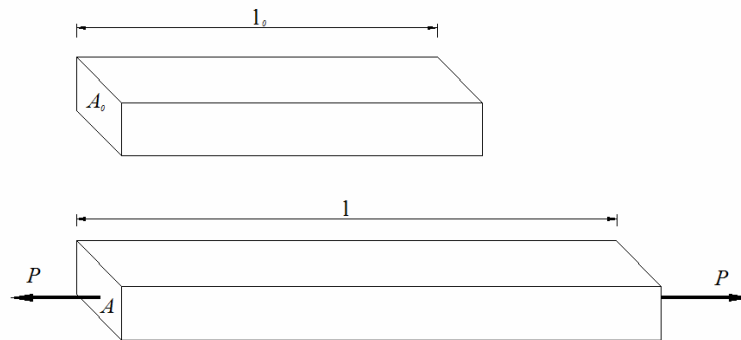


Fig. 4.9 Lipsa omogenității stării de deformație – cazul întinderii [15]

Ipoteza omogenității stării de deformație este esențială (cazul în care aceasta nu este realizată va fi considerat mai departe). Practic, aceasta revine la a asigura, în cazul întinderii, o lungime suficient de mare a epruvetei încercate (pentru ca efectul perturbațiilor de capăt să fie cât mai mic, în baza principiului lui Saint-Venant); în cazul compresiunii, în care piesa trebuie să fie suficient de scurtă pentru a evita flambajul, trebuie să se asigure, prin mijloace constructive (lubrifiere), posibilitatea deplasării transversale libere a secțiunilor de capăt (fig. 4.10).

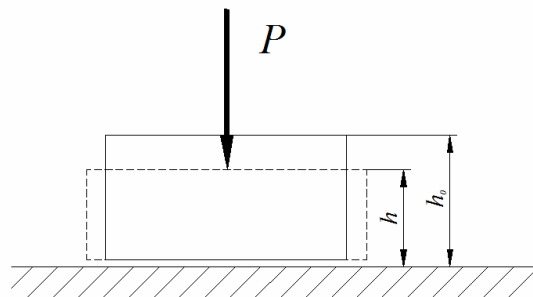


Fig. 4.10 Lipsa omogenității stării de deformație – cazul compresiunii [15]

Fie $\lambda_1 = \lambda$ extensia în direcția de acțiune a forței, pe motive de simetrie $\lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$

Experiențe minuțioase efectuate de Treloar au condus pe Mooney la adoptarea unui potențial elastic pentru cauciuc de forma lineară

$$\varphi = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) \quad (4.23)$$

Modelul cauciucului caracterizat de potențialul elastic (4.23) este cunoscut în literatură sub numele de “*modelul Mooney*”. Verificarea acestui model constă în confruntarea consecințelor sale cu datele experimentale. În cazul solicitării axiale, din (4.5) rezultă:

$$I_1 = \lambda^2 + 2\lambda^{-1}; \quad I_2 = 2\lambda + \lambda^{-2}$$

așa încât

$$\varphi(\lambda) = C_1(\lambda^2 + 2\lambda^{-1} - 3) + C_2(2\lambda + \lambda^{-2} - 3)$$

iar de aici, utilizând (4.15) și notând $t_1 = t$, $t_2 = t_3 = 0$,

$$t = 2C_1(\lambda - \lambda^{-2}) + 2C_2(1 - \lambda^{-3}) \quad (4.24)$$

iar din (4.22)

$$\sigma = 2C_1(\lambda^2 - \lambda^{-1}) + 2C_2(\lambda - \lambda^{-2}) \quad (4.25)$$

Constantele elastice C_1 , C_2 sunt legate printr-o relație simplă, impusă de condiția ca, pentru deformații mici, ecuațiile (4.24) sau (4.25) să se reducă la legea lineară $\sigma = E\varepsilon$ a oricărui corp elastic. Pentru deformații mici avem:

$$\lambda = 1 + e, \quad \varepsilon \cong e \ll 1$$

$$\lambda^{-2} = (1 + \varepsilon)^{-2} \cong 1 - 2\varepsilon, \quad \lambda^{-3} = (1 + \varepsilon)^{-3} \cong 1 - 3\varepsilon$$

$$\sigma \cong t \cong 6(C_1 + C_2)\varepsilon = E\varepsilon$$

de unde

$$E = 6(C_1 + C_2) \quad (4.26)$$

Subliniem că în (4.26) E reprezintă modulul de elasticitate longitudinal “*clasic*” al materialului, obținut prin linearizarea curbei $t = t(\lambda)$ sau $\sigma = \sigma(\lambda)$ în vecinătatea stării nedeformate $\lambda = 1$ (cu alte cuvinte reprezintă panta tangentei dusă în $\lambda = 1$ la curba $t = t(\lambda)$ sau $\sigma = \sigma(\lambda)$).

În al doilea rând, condiția de incompresibilitate se scrie în domeniul deformațiilor mici, sub forma $\sum \varepsilon_i = 0$ sau $\mu = 0,5$ unde μ este coeficientul lui Poisson, așa încât:

$$E = 2G(1 + \mu) = 3G \quad (4.27)$$

și deci

$$G = 2(C_1 + C_2) \quad (4.28)$$

G fiind modulul de elasticitate transversal al cauciucului, pentru deformații mici. G se determină ușor pe cale experimentală, prin încercarea unei epruvete cilindrice la torsiune. În

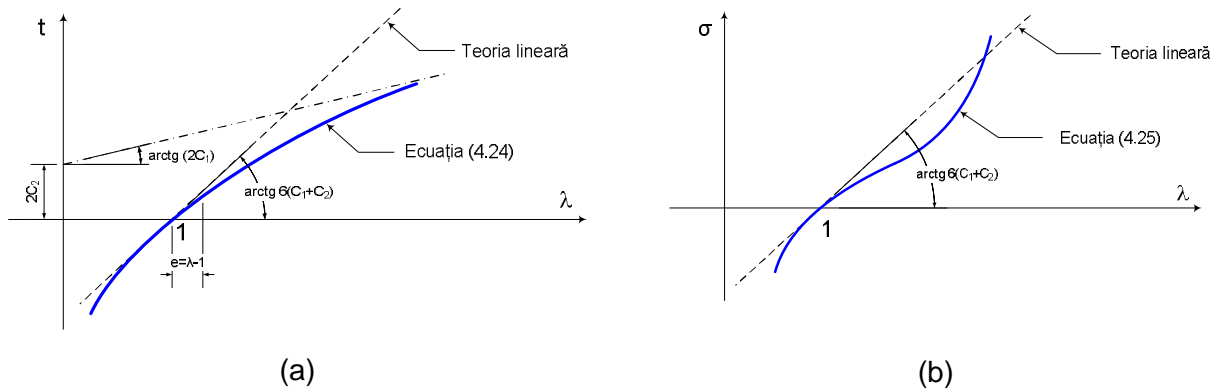
acest caz $G = \frac{Ml}{\varphi I_p}$, unde M este momentul de torsiune, l este lungimea piesei, φ este

unghiul de răsucire relativă a secțiunilor de capăt iar I_p este momentul de inerție polar al

secțiunii, $I_p = \frac{\pi R^4}{2}$. Subliniem că relația lineară dintre M și φ se menține și în cazul deformației finite.

Pe de alta parte rezultă că $\frac{C_2}{C_1} \cong 0,05$. Totuși, nu există suficiente date experimentale care să ateste ca sigure aceste valori și de aceea adoptarea lor trebuie făcută cu prudență. Nu este exclusă o variație a raportului $\frac{C_2}{C_1}$ cu tipul și marca cauciucului.

Graficul curbelor (4.24) și (4.25) este reprezentat în figura 4.11.



(a) $t = 2C_1(\lambda - \lambda^{-2}) + 2C_2(1 - \lambda^{-3})$
 (b) $\sigma = 2C_1(\lambda^2 - \lambda^{-1}) + 2C_2(\lambda - \lambda^{-2})$

Se observă că teoria bazată pe legea constitutivă a lui Mooney conduce la rezultate corecte calitativ, curbele din figura 4.11 având exact alura celor experimentale.

Curba forță-deformație, $P = P(\lambda)$ este asemenea cu curba tensiunii nominale t , deoarece $P = A_0 t(\lambda)$, iar A_0 este o constantă (aria inițială a secțiunii).

Modelul Mooney descris mai sus este pe deplin satisfăcător în domeniul

$$0,5 \leq \lambda \leq 1,5 \tag{4.29}$$

În afara acestui domeniu, potențialul elastic trebuie corectat cu termeni de grad superior în λ , pentru a conduce la rezultate în concordanță cu experimentul.

Considerând că pentru majoritatea aplicațiilor tehnice în construcția de amortizoare, condiția (4.29) este îndeplinită, rezultatele de la acest paragraf pot fi puse pe baza calculului pieselor de cauciuc solificate axial.

Mai mult, literatura propune și un model mai simplu, definit prin potențialul:

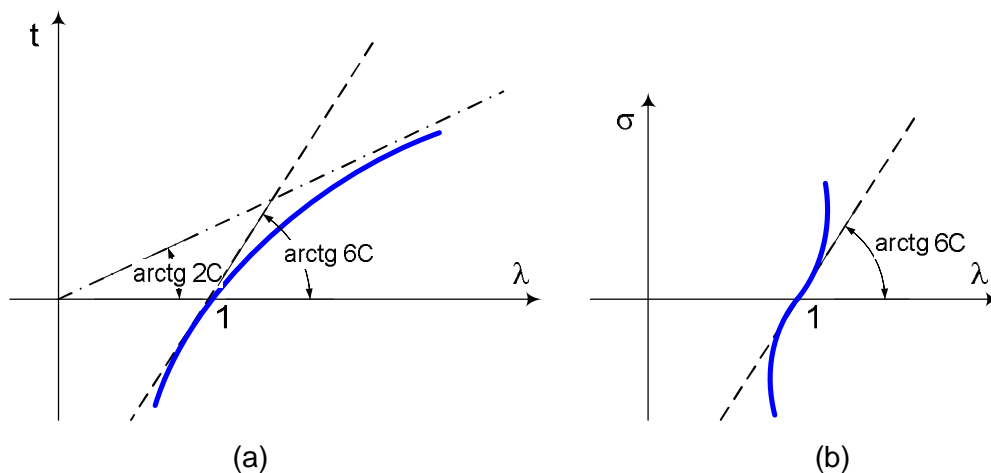
$$\varphi(\lambda) = C(I_1 - 3) \tag{4.30}$$

model numit "neo-hookean" sau "corp Rivlin", considerat ca adecvat pentru descrierea comportării cauciucului, cel puțin pentru valori λ apropiate de unitate. Adoptarea modelului Rivlin revine la a considera $C_2 = 0$ în relația (4.23), iar aceasta conduce, evident, la o descriere intermediară între teoria elementară, lineară și cea a lui Mooney.

În aceste condiții, relațiile (4.26) și (4.28) dau:

$$E = 6C = 3G \tag{4.31}$$

iar curbele caracteristice au forma indicată în figura 4.12.



(a) Curba caracteristică $E = 6(C_1 + C_2)$; (b) Curba caracteristică $G = 2(C_1 + C_2)$

Relația forță-extensie devine:

$$P = GA_0(\lambda - \lambda^{-2}) \tag{4.32}$$

care se mai poate exprima și în funcție de alungirea $\Delta = l - l_0$, deci:

$$P = GA_0 \left(1 + \frac{\Delta}{l_0} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta}{l_0} \right)^2} \right) \quad (4.33)$$

Fie, de pildă, $e = \frac{\Delta}{l_0} < 0,2$, atunci e^3 este neglijabil în raport cu e , $(1 + e)^{-2} \cong 1 - 2e + 3e^2$,

deci:

$$P \cong 3GA_0(e - e^2) = EA_0(e - e^2) \quad (4.34)$$

Relația (4.34) arată că, în comparație cu teoria lineară, în care $P = \frac{EA_0}{l_0} \Delta = EA_0 e$, aproximația (4.32) – (4.34) aduce corecția nelineară $EA_0 e^2$ (figura 4.13).

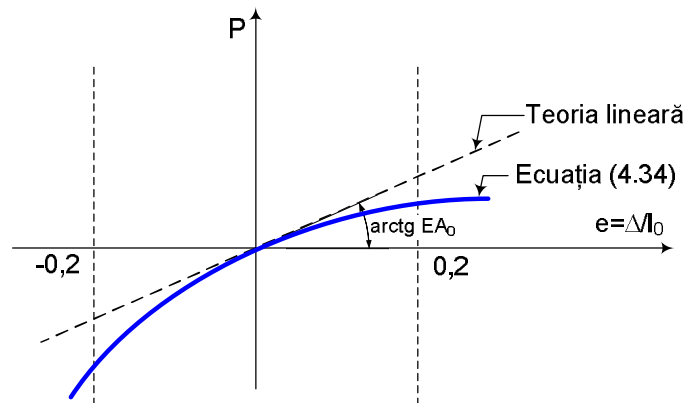


Fig. 4.13 Introducerea corecției nelineare $EA_0 e^2$ față de teoria lineară

b. Deformația de lunecare simplă a paralelipedului de cauciuc

Pe baza presupunerii că un paralelipiped de cauciuc este foarte lung în direcția lunecării – *bandă elastică*, deformația de lunecare simplă este descrisă de ecuațiile:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1 + kx_2 \\ x_2 &= x_2 \\ x_3 &= x_3 \end{aligned} \quad (4.35)$$

În figura 4.14 $A(x_1, x_2, x_3)$ este poziția unui punct material înainte de deformare, iar $A'(x_1, x_2, x_3)$ este poziția aceluiași punct după deformare.

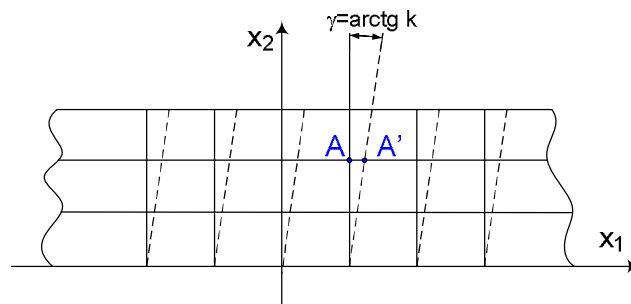


Fig. 4.14 Poziția unui punct material înainte și după deformare

Aplicarea relațiilor (4.1), în care $u_i = X_i - x_i$, conduce la tensorul deformație (finită):

$$[\varepsilon_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{k}{2} & 0 \\ \frac{k}{2} & \frac{k^2}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

Rezolvând ecuația determinant a valorilor proprii rezultă valorile principale:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{k}{4} \left(k \pm \sqrt{k^2 + 4} \right)$$

$$\varepsilon_3 = 0$$

de unde extensiile principale rezultă de forma:

$$\lambda_{1,2}^2 = 1 + \frac{k^2}{2} \pm \frac{k}{2} \sqrt{k^2 + 4}$$

$$\lambda_3 = I_3 = 1$$

Legea constitutivă (4.15) devine, pentru o stare de deformare oarecare:

$$t_{ij} = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial X_i}{\partial x_k} \frac{\partial w}{\partial \varepsilon_{kj}} - p \frac{\partial x_j}{\partial X_i}$$

care pentru corpul Mooney (4.23) și legea de deformare admisă (4.35) conduce, după substituirea invariantilor i_1, i_2, i_3 , în loc de I_1, I_2, I_3 și calculul derivatelor, la:

$$t_{11} = t_{33} = t_{13} = t_{31} = t_{23} = t_{32} = 0$$

$$t_{22} = -2C_2 k^2$$

$$t_{12} = 2(C_1 + C_2)k$$

$$t_{21} = 2(C_1 + C_2)k + 2C_2 k^3$$

(4.37)

În figura 4.15 se reprezintă starea de tensiune pe fațetele care înainte de deformare se aflau paralele cu axele și aveau dimensiuni unitare (t_{ij} sunt tensiuni convenționale).

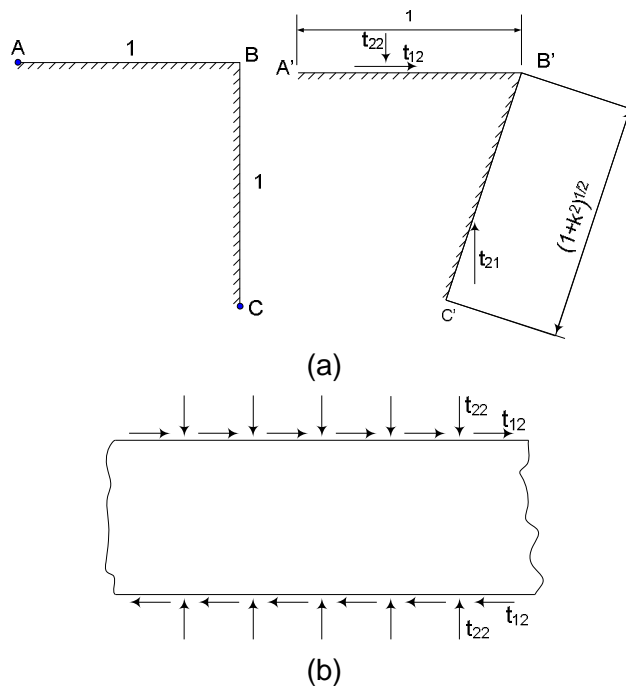


Fig. 4.15 Starea de tensiune pe fațetele care înainte de deformare se aflau paralele cu axele și aveau dimensiuni unitare

Se desprind următoarele concluzii:

- pentru realizarea deformației de lunecare a benzii elastice de cauciuc (modelul Mooney) este necesar să se aplice, pe lângă tensiunile tangențiale t_{12} și o presiune normală t_{22} (figura 4.15 b).

- pentru valori relativ mici ale deformației k , la care $k^2 \cong 0$, $k^3 \cong 0$, $k \cong \gamma$, se obține soluția clasică (a teoriei lineare a elasticității)

$$t_{22} = 0$$

$$t_{12} = t_{21} = G\gamma$$

deoarece $2(C_1 + C_2) = G$ conform relației (4.28).

- dacă în locul modelului Mooney se acceptă legea constitutivă neo-hookeană (4.30), deci $C_2 = 0$, $C_1 = C$, rezultă:

$$t_{22} = 0$$

$$t_{12} = t_{21} = Gtg\gamma$$

- oricare ar fi legea constitutivă adoptată, tensiunea tangențială t_{12} este dată de aceeași expresie:

$$t_{12} = Gtg\gamma \tag{4.38}$$

reprezentată grafic în figura 4.16, împreună cu $|t_{22}|$ dat de (4.37).

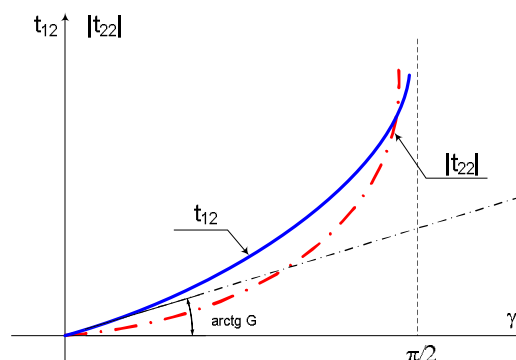


Fig. 4.16 Reprezentarea tensiunii tangențiale $t_{12} = Gtg\gamma$ împreună cu $|t_{22}| = |-2C_2k^2|$

4.3 Cerințe esențiale referitoare la configurația globală a ansamblului structură - izolator - teren

Condiția supremă pentru instalarea unui sistem de izolare a bazei este ca deplasarea orizontală a clădirii față de pământ să poată fi de minim 100 mm și în unele condiții chiar până la 1 m [141], [143]. Pentru a permite această deplasare trebuie să fie stabilit un plan de separare. Stabilirea finală a locației acestui plan de separare depinde de structură, iar acest proces trebuie să ia în considerare câteva elemente.

Cea mai obișnuită configurație este instalarea diafragmei imediat deasupra izolatoarelor. Aceasta permite ca sarcinile seismice să fie distribuite pe izolatoare conform rigidităților acestora. La clădirile fără subsol izolatoarele sunt montate pe fundație iar clădirea este construită deasupra lor. Dacă clădirea are subsol, atunci opțiunile de instalare a izolatoarelor sunt la capătul superior, la capătul inferior sau la mijlocul coloanelor și pereților din subsol.

Pentru opțiunile de montare la partea superioară sau inferioară a coloanelor/pereților, atunci trebuie ca elementul să fie calculat la momentul dat de forța maximă de forfecare în izolator. Această alegere necesită coloane de dimensiuni mari sau stâlpi de consolidare pentru a rezista sarcinilor.

Alegerea planului de izolare pentru izolarea unei clădiri existente urmează aceeași procedură ca și pentru o clădire nouă, dar există mai multe constrângeri. De asemenea, multe din problemele care sunt rezolvate la proiectarea unei noi instalații, cum ar fi momentele

secundare, acțiunea diafragmei pe izolatori și capacitatea substructurii de a rezista la forțele maxime din izolatoare trebuie să fie încorporate într-o clădire existentă.

4.4 Conceptul de compatibilizare acțiune-izolator-răspuns structural și principii specifice

Exigențele pentru un sistem practic de izolare sunt formate din două categorii de cerințe și anume:

1) *Cerințele esențiale* ale unui sistem de izolare sunt definite de următoarele obiective de performanță:

- flexibilitatea
- amortizarea
- rezistența la solicitările din exploatare.

2) *Cerințele suplimentare* cum ar fi durabilitatea, costul, ușurința de instalare și exigențele specifice de proiectare influențează selecția dar, practic, toate sistemele trebuie să conțină cele trei elemente esențiale enumerate.

Compatibilizarea este procesul de etapizare a abordării unei evaluări prin inițierea acesteia la nivel global (pentru obținerea unor informații calitative), continuarea la nivel zonal și aprofundarea la nivel local (sau de element) cu posibilitatea generalizării răspunsului elemental la nivelul întregului sistem analizat și evaluarea gradului de încredere.

Compatibilizarea ansamblului *acțiune perturbatoare – izolator – răspuns structural*, considerată a fi o metodă cu caracter aplicativ, poate fi structurată astfel:

- ❖ **de tip** – în funcție de tipul elementului (caracteristici statice/dinamice)
- ❖ **de formă** – în funcție de geometria elementului
- ❖ **de configurație** – în funcție de geometria ansamblului de izolatori

Compatibilizarea trebuie să țină cont de un ansamblu coerent de factori care să poată caracteriza complet comportarea în regim de exploatare a reazemelor vâsco-elastice.

Modelele simplificate (cu mase concentrate) nu iau în considerare toate categoriile de informații cu privire la evoluția calitativă și cantitativă a unui element izolat în condiții normale de exploatare.

Modelele cu mase distribuite, care se rezolvă în general utilizând metoda elementului finit, nu oferă informații globale, generale cu privire la evoluția întregului ansamblu reazem-izolator-structură. Acestea însă oferă informații detaliate la nivel de element (influența formei prin intermediul coeficientului de formă, neliniarități de material, neliniarități geometrice locale/zonale, evoluții particulare în funcție de complexitatea locală/zonală a solicitărilor exterioare).

Aportul tezei rezultă din preluarea elementelor pozitive ale ambelor abordări prezentate anterior și asamblarea acestora într-un concept coerent de evaluare sistemică a ansamblului structură-izolator-teren în condiții specifice de exploatare.

Trebuie evidențiată necesitatea utilizării ca date de intrare primare a caracteristicilor de material (tip E,G, μ), care să poată fi „particularizate” (sau să li se încorporeze „informații de configurație”) rezultând astfel seturi de rigidități (k_x , k_z) disponibile pentru simulări pe modele simplificate (cu mase concentrate).

CAPITOLUL V

CARACTERIZARE EXPERIMENTALĂ A ELEMENTELOR/SISTEMELOR DE IZOLARE ELASTOMERICE

5.1 Evaluarea caracteristicilor statice ale elementelor antivibratorii din elastomeri

Pentru aparatele de reazem din elastomeri, principalii parametri se determină prin încercări care se realizează conform unei proceduri [11]***. Procedura stabilește următoarele etape:

- ❖ încercarea aparatelor de reazem pentru stabilirea parametrilor dimensionali: dimensiuni de gabarit, grosimea stratului de elastomer, numărul de straturi
- ❖ coeficientul de formă

- ❖ încercarea elastomerului prin determinarea parametrilor de tip duritate Shore A și densitate
- ❖ încercarea cvasistatică pentru solicitările de forfecare și compresiune

5.2 Evaluarea caracteristicilor dinamice ale elementelor antivibratorii din elastomeri

Teoria comportării dinamice a elementelor de cauciuc este relativ incompletă. De aceea, diverși autori recomandă efectuarea de cercetări experimentale pentru fiecare problemă concretă examinată.

Informațiile în privința dinamicii nelinere a elementelor de cauciuc (deformații mari) sunt insuficiente. Această deficiență a teoriei dinamice a cauciucului nu este, totuși, un neajuns important deoarece se admite că deformațiile dinamice rămân, în general, în limitele acceptabile pentru o teorie lineară (inferioare unor valori de 10–15%).

Formularea problemei generale trebuie să aibă în vedere că, în regim de exploatare, deformațiile dinamice ale amortizorilor sunt în general suprapuse peste o stare inițială de deformație statică (corespunde repausului utilajului). În ceea ce privește starea inițială de deformație statică, aceasta este descrisă de teoria nelinere a elasticității statice și poate fi admisă a fi finită.

Un calcul dinamic trebuie să răspundă la două probleme fundamentale:

1. *Dinamica regimului staționar* – oscilații armonice, $\omega = \text{constant}$;
2. *Dinamica regimului tranzitoriu* – pentru o lege anumită, dată a perturbației exterioare (forță aplicată, lege de mișcare a bazei).

Pe lângă cele două probleme enunțate prezintă interes practic și studiul *regimului cvasistatic de deformație* – fenomene care decurg în timp, însă a căror viteză de deformație este suficient de mică încât forțele de inerție să fie neglijabile. În această categorie intră studiul *fluajului și relaxării*, care pot fi privite ca o succesiune de stări de echilibru static, variabile în timp. Modelele teoretice întâlnite în literatura de specialitate neglijează întotdeauna masa elementului de cauciuc, ținând seama doar de proprietățile sale elastice și disipative. Această aproximație este acceptabilă, cel puțin pentru frecvențe nu prea înalte.

5.3 Ipoteze de bază în utilizarea elementelor elastomerice

Alegerea unui element de tip HDRB pentru studiu s-a făcut pe baza ipotezei fundamentale conform căreia pentru a realiza un nivel ridicat de izolare este nevoie de elemente cu amortizare mare. Elementul High Damping Rubber Bearings (HDRB) oferă amortizare mare doar prin caracteristica proprie materialului elastomeric, spre deosebire de elementul Lead Rubber Bearings (LRB) care, pentru a realiza un grad potrivit de amortizare, introduce un element adițional profund plastic (miezul de plumb). Elementele de izolare HDRB sunt constituite din straturi de cauciuc vulcanizat care alternează cu fâșii din tablă de oțel. Prin acest mod de construcție, dispozitivul de izolare oferă o capacitate ridicată de a prelua încărcări mari în direcție verticală cu o deformație minimă la solicitarea de compresiune. De asemenea, elementul permite deplasări mari în direcție orizontală, deci rigiditate mică în această direcție. Cea mai importantă proprietate a cauciucului este capacitatea sa de a disipa energia (capacitatea de amortizare). Indiferent de poziționare, sub clădire sau sub grinzile de pod, sistemul de izolare seismică cu elastomeri are rolul de a crește perioada fundamentală a structurii, reducând astfel semnificativ efectele activității seismice. Adoptarea elementelor multistrat, cu tole metalice intermediare, oferă multiple avantaje dintre care se pot aminti:

- stabilitate superioară, dată prin valori mari ale rigidității în direcție verticală
- ruperea legăturii cu terenul, asigurată prin valori reduse ale rigidității în direcție orizontală
- frecvențe proprii ale sistemului de izolare, mici pe direcție orizontală, mari pe direcție verticală.

S-a ales pentru analiză un set de elemente multistrat de tip High Damping Rubber Bearings (HDRB) produs de firma ALGA.

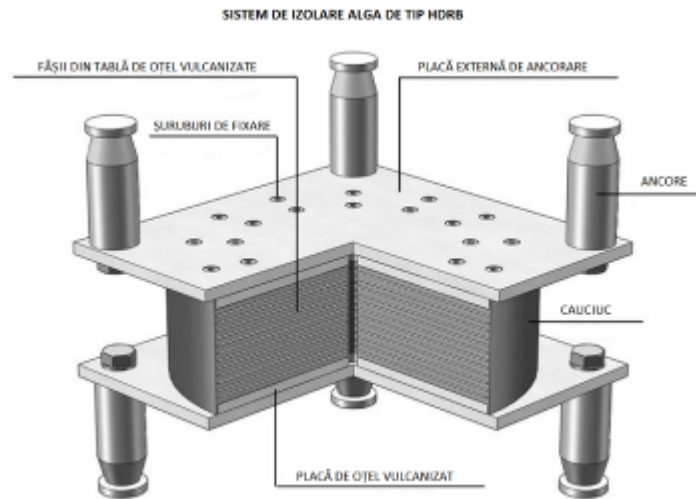


Fig. 5.10 Element de izolare cu elastomeri HDRB produs de firma ALGA [3]***

5.4 Caracterizarea structurală și funcțională a elementelor elastomerice cu amortizare superioară

Izolatoarele HDRB pot fi modelate evidențiind caracteristicile lor prin intermediul a doi parametri importanți:

K_r = rigiditatea în direcție orizontală

ξ = amortizarea vâscoasă echivalentă

Valorile pentru acești parametri sunt date în literatura de specialitate în funcție de dimensiunile geometrice ale izolatorului. Se precizează faptul că valorile parametrilor mai sus specificați sunt date la o temperatură de referință de $+20^{\circ}\text{C}$ și o lunecare specifică (deformație la forfecare) de 100%.

În cele ce urmează se va adopta pentru analiză un set din cele mai des utilizate tipuri de elemente de izolare HDRB și anume cele cu secțiune circulară. Codul HDRB este format astfel:

HD„X” D×H, unde

„X”=compusul de cauciuc utilizat, „S”=soft (ușor), „N”=normal, „H”=hard (greu)

Tabelul 5.2 Sistem de izolare cu amortizare superioară HDRB cu compus din cauciuc „normal” [3]***

D 600 B650 Z 480						
Caracteristici geometrice		Caracteristici tehnice				
		HDN $\xi = 10\%$, $G = 0,8 \text{ MPa}$				
t_e	H	S_{\max}	V_{\max}	V_{sism}	K_r	K_v
[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN/mm]	[kN/mm]
60	170	120	5400	5400	3,77	4229
72	187	150	6100	6100	3,14	3525
84	210	170	6700	6700	2,69	3021
96	228	200	7000	6150	2,36	2643
108	246	220	7200	5250	2,09	2350
132	282	270	6850	3800	1,71	1922
144	300	290	6200	3350	1,57	1762
156	306	320	5600	2850	1,45	1627
168	323	340	5100	2500	1,35	1511
180	340	360	4700	2200	1,26	1410
192	342	390	4300	1900	1,18	1322
204	358	410	4000	1700	1,11	1244

5.5 Evaluarea instrumentală a caracteristicilor de lucru în regim static și dinamic pentru un set complet de elemente vâsco-elastice (în vederea compatibilizării structurale și funcționale a sistemului reazem-izolator-structură)

În acest subcapitol se propune realizarea încercării la solicitările de compresiune și forfecare a elementelor din neopren. Încercările au fost realizate pe baza procedurii elaborate de Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON SA București. Experimentul efectuat a luat în considerare două tipuri de elemente de izolare seismică:

- elemente de izolare seismică din elastomeri fără armătură metalică, prezentând plăci metalice de prindere doar la părțile superioară și inferioară (figura 5.13);
- elemente de izolare seismică din elastomeri cu armătură metalică, alcătuite din straturi de cauciuc alternând cu straturi subțiri (tole) din tablă de oțel vulcanizate între ele (descrise pe larg în capitolul II).

Duritatea a fost determinată pentru fiecare element de izolare în parte cu ajutorul durimetrului.



Fig. 5.13 Elementele de izolare din elastomeri fără armătură metalică

a. Încercarea la compresiune

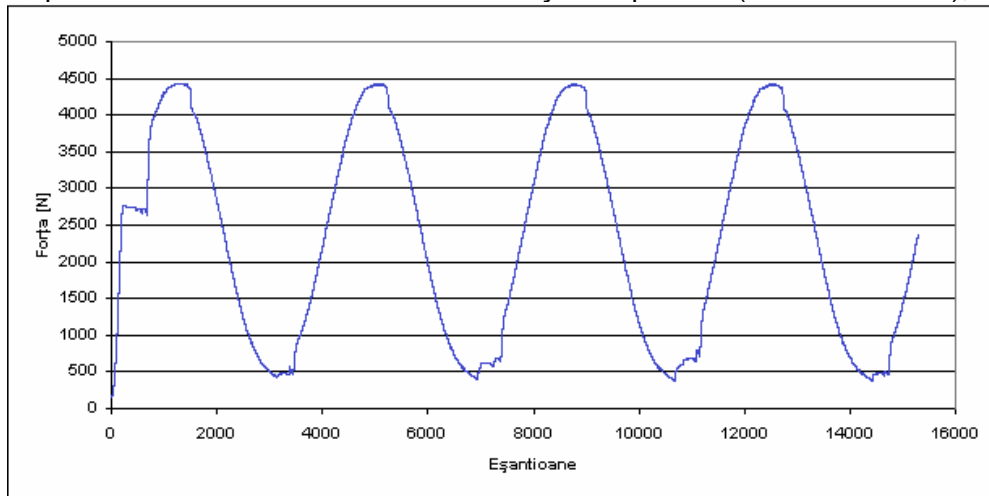
Încercarea la solicitarea de compresiune s-a efectuat în cadrul Institutului de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON SA București pe mașina universală de tip SANS Testing Machinen Co. Ltd. China model DCS 300, seria 30810023, prezentată în figura 5.14, la temperatura mediului ambiant de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Elementele de încercat au fost amplasate pe axa presei, direcția de comprimare fiind axială pe sistemul de izolare seismică.



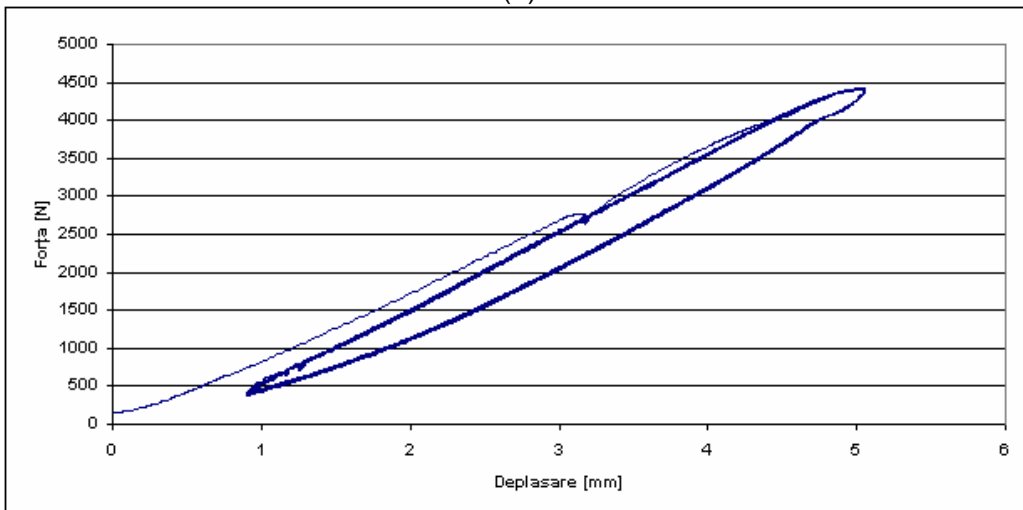
Fig. 5.14 Presa de încercare la compresiune SANS DCS 300

Pe baza rezultatelor obținute în urma încercării la compresiune ciclică s-au realizat diagramele din figura 5.15.

De asemenea, determinările experimentale la compresiune au condus la obținerea unui set de valori pentru parametrii de tip forță, deplasare, rigiditate statică k_s , atât la încărcare cât și la descărcare, pe baza cărora a fost trasată curba forță – deplasare (curba histerezis), figura 5.16.



(a)



(b)

Fig. 5.15 Rezultatele încercărilor la compresiune ciclică pentru elementul de izolare din elastomeri fără tole metalice intermediare

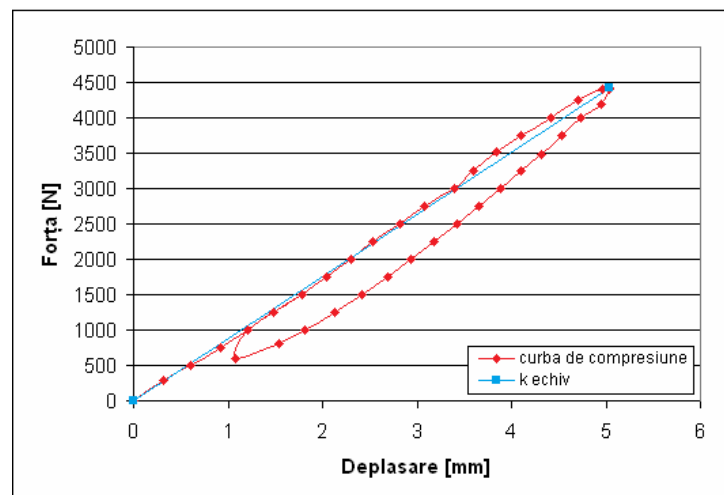


Fig. 5.16 Curba histerezis (forță - deplasare)

b. Încercarea la forfecare

Determinarea experimentală pentru cazul solicitării de forfecare a fost efectuată conform normei SR EN 1337-3 [100] (figura 5.17) și este prezentată în continuare [78]. Sistemul de izolare seismică a fost supus la sarcini de compresiune, aplicată cu viteză extrem de scăzută obținându-se deplasări din 2 în 2 mm. Forțele aplicate au fost între 0÷103 kN. Viteza de forfecare maximă este de 100 mm/min. În timpul încercărilor a fost asigurată o forță de prestrângere de compresiune corespunzătoare unei presiuni de 10 MPa.

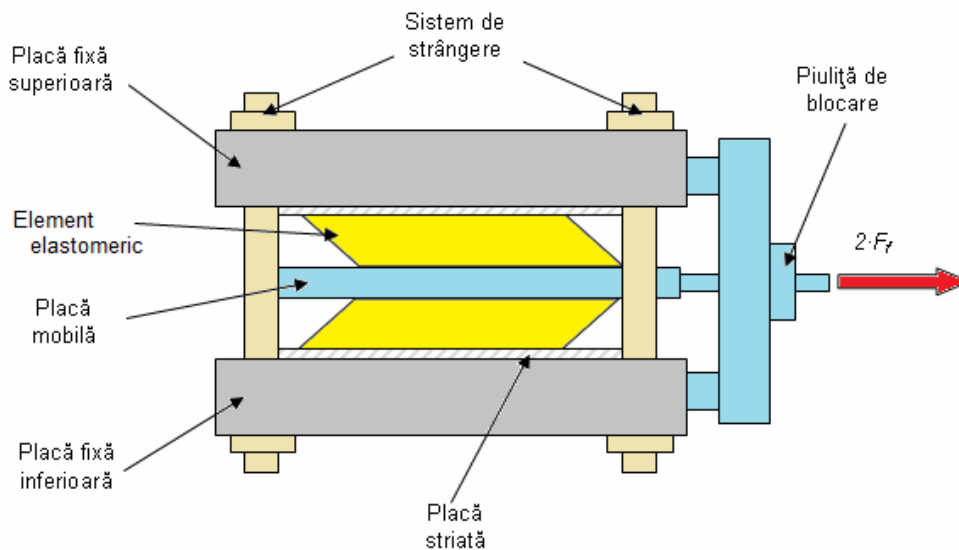


Fig. 5.17 Încercarea la forfecare a izolatorilor

În figura 5.18 este prezentată diagrama curbei forță – deplasare rezultată din determinările experimentale la solicitarea de forfecare.

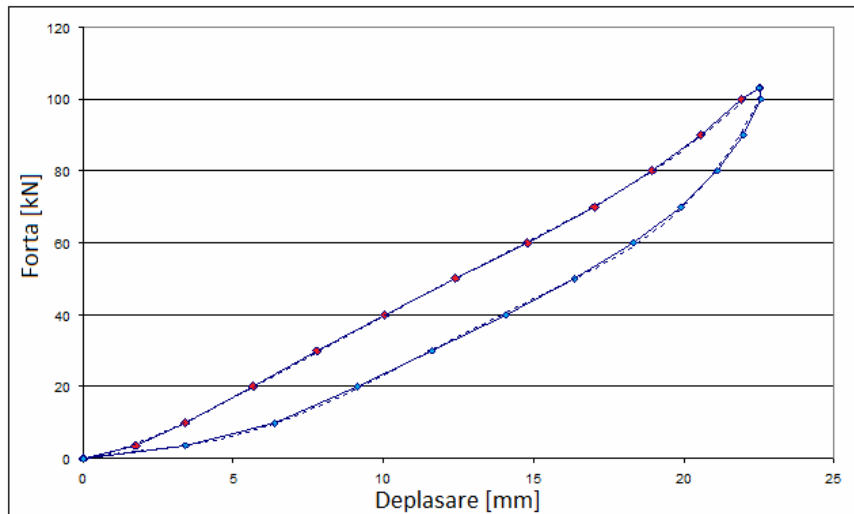


Fig. 5.18 Curba forță – deplasare pentru un ciclu încărcare-descărcare

c. Evaluarea caracteristicii de rigiditate dinamică

Este cunoscut faptul că există două metode de identificare a rigidității dinamice a materialelor elastice și acestea fiind prezentate în literatura de specialitate. Prima se bazează pe *spectrul de răspuns* a elementului elastic [11], a doua pe *frecvența de excitație* foarte aproape de frecvența proprie a elementului elastic apărând fenomenul de rezonanță [14].

În cadrul Institutului de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții – ICECON SA București, a fost conceput, realizat și patentat un stand pentru testarea sistemelor de izolare

din cauciuc sau neopren solificate prin încărcări armonice, pseudo-armonice și încărcări statice prin creșteri discrete în intervalul 360 kg la 2500 kg. Standul este prezentat în figura 5.20 și este compus din două cadre, fiecare având câte trei brațe. Acționarea este realizată printr-un sistem compus dintr-un motor electric 1 și un vibrator 2, care generează forțe verticale armonice sau pseudo-armonice. Sistemul de acționare este montat pe placa 3 și este fixat la partea superioară prin intermediul a trei brațe. Fiecare braț transmite forța verticală armonică prin intermediul celulelor de sarcină 5, la sistemul de fixare 7 compus din elementele de schimbare a unghiului de prindere 6. Deplasarea relativă dintre cele două puncte de susținere a sistemului de izolare din cauciuc este măsurată de traductorul de mișcare 8. Pe rama superioară sunt montate accelerometre.

Standul permite schimbarea unghiului sub care sistemele de izolare din cauciuc/neopren sunt deformatate între 0° și 90° , combinațiile de încărcare pot fi selectate, de la solicitare de compresiune pură la solicitare de forfecare pură.

Încercările dinamice efectuate pe standul în trei puncte din figura 5.20 au avut la bază metoda rezonanței.

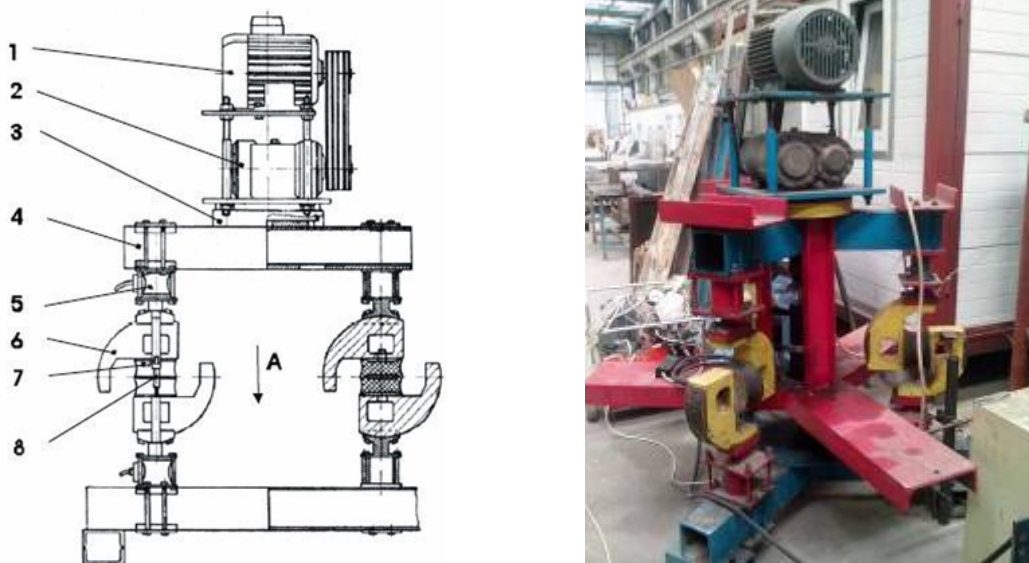


Fig. 5.20 Stand de încercare la vibrații forțate a sistemelor de izolare

5.6 Concluzii parțiale

În urma testelor experimentale realizate pe elementele elastomerice în diferite configurații structurale au fost determinate caracteristicile statice și respectiv cele dinamice. Analiza globală a diagramelor obținute, precum și a formulărilor analitice asociate fiecărei curbe caracteristice, evidențiază un comportament de tip neliniar pentru toate tipurile de încărcări și de elemente.

Se constată un comportament stabil cu variația frecvenței de excitație, fapt care este în conformitate cu cerințele funcționale și cele de performanță impuse în cazul izolării antiseismice a clădirilor. Stabilitatea curbelor de histerezis, observată în regim experimental, pune în evidență un comportament disipativ constant în timp, în sensul constanței capacității disipative pe fiecare ciclu complet de solicitare externă.

Stabilitatea comportamentală în regim dinamic a fost observată pentru toate categoriile de încărcări și tipuri de solitare efectuate și anume: statice și dinamice, respectiv compresiune și forfecare. Acest lucru prezintă un deosebit interes pentru utilizări de tip izolare antiseismică sau antivibratorie deoarece solicitarea perturbatoare acționează, în general, după o direcție oarecare, astfel încât sistemul de izolare este supus unor eforturi combinate atât de compresiune, cât și de forfecare.

CAPITOLUL VI

COMPATIBILIZAREA CORELATIVĂ ȘI OPTIMALĂ A ANSAMBLULUI TEREN-IZOLATOR-STRUCTURĂ

6.1 Evaluarea critică a structurilor supuse procesului de compatibilizare

Clădirile de patrimoniu cultural reprezintă o categorie aparte de clădiri, semnificative pentru istoria, cultura și civilizația națională și universală. Regimul de clădire de patrimoniu este conferit prin clasarea acestor bunuri imobile conform procedurii prevăzute în legea 422/2001. Importanța acestor clădiri nu este numai culturală și istorică, ele având majoritatea și rol funcțional. Legislația în vigoare stabilește măsurile care trebuie luate pentru întreținerea, consolidarea, restaurarea și punerea în valoare a clădirilor de patrimoniu și integrarea lor social-economică și culturală în viața colectivităților locale. Ele trebuie protejate însă și împotriva factorilor perturbatori externi, factori din care fac parte și acțiunile seismice.

Un studiu făcut asupra unui număr de clădiri de patrimoniu cultural și religios din țară a condus la concluzia că un procent mare din aceste clădiri (83,4%) prezintă din punct de vedere al geometriei constructive un plan de simetrie vertical transversal.

Exemple ale unor astfel de edificii sunt prezentate în figurile 6.1, 6.2, 6.6, 6.7.



Fig. 6.1 Opera Română, București

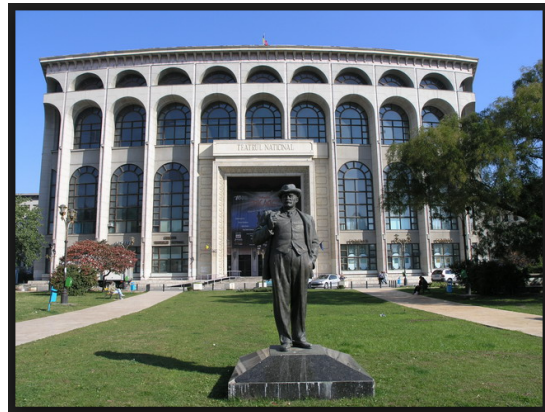


Fig. 6.2 Teatrul Național, București



Fig. 6.6 Biserica Greacă Buna Vestire, Brăila

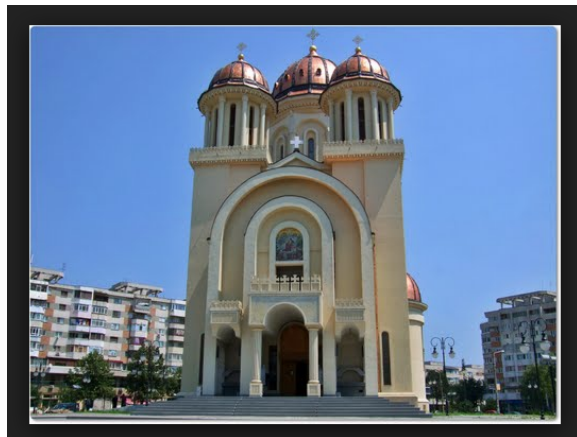


Fig. 6.7 Catedrala Nașterea Domnului, Brăila

Concluzia obținută din studiul anterior a dus la adoptarea pentru studiu în acest capitol al tezei al unui model de solid rigid care prezintă un plan vertical transversal de simetrie. Abordarea din punct de vedere matematic a modelului ales conduce la simplificarea calculului prin decuplarea sistemului de ecuații general în subsisteme mai simple și ușor de integrat. În plus, dacă se consideră că legăturile rigidului sunt elastice sau cu amortizări mici, ecuațiile de mișcare se simplifică prin anularea amortizărilor.

6.2 Bazele teoretice ale compatibilizării structurale și funcționale

Cele două subsisteme rezultate prin adoptarea planului de simetrie vertical transversal sunt (Y, Z, φ_x) și $(X, \varphi_y, \varphi_z)$ [15]. Ele se caracterizează fiecare prin trei coordonate dinamice (3GDL) cuplate. În continuare s-au prezentat în cadrul tezei bazele teoretice ale modelelor cu trei grade de libertate adoptate pentru studiu.

6.3 Abordarea reologică generalizată a elementelor elastomerice utilizate în izolarea dinamică - compatibilizarea de tip

În urma studierii modelelor reologice consacrate, prezentate în literatura de specialitate, am încercat, în cadrul acestui capitol [110], [127] să generez un model complex și să îl abordez ca un caz general din care, prin particularizare, să rezulte modelele cunoscute (simple și compuse).

Obiectivul urmărit a fost realizarea unui model unitar și rezolvarea lui atât printr-o abordare analitică cât și printr-o abordare numerică, pentru a evidenția conceptul de compatibilizare de tip, dependent de tipul elementului din punct de vedere al caracteristicilor statice/dinamice.

Modelul reologic în discuție este alcătuit dintr-un corp Zenner dispus în serie cu un model Voigt-Kelvin și sistemul rezultat dispus în paralel cu un model Maxwell.

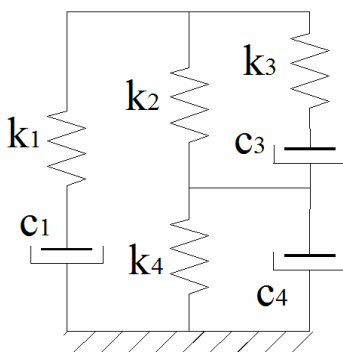


Fig. 6.10 Model reologic generalizat

S-au scris ecuațiile constitutive pentru fiecare ramură și s-a ajuns în final la o ecuație diferențială de ordinul III, atât în forțe cât și în deplasări:

$$\begin{aligned}
 & F(k_1 k_2 k_3 + k_1 k_3 k_4) + \\
 & \dot{F}(k_1 k_3 c_4 + k_1 k_4 c_3 + k_1 k_2 c_3 + k_1 k_3 c_3 + k_3 k_4 c_1 + k_2 k_3 c_1) + \\
 & \ddot{F}(k_1 c_3 c_4 + k_3 c_1 c_4 + k_4 c_1 c_3 + k_2 c_1 c_3 + k_3 c_1 c_3) + \\
 & \dddot{F} c_1 c_3 c_4 = \\
 & x k_1 k_2 k_3 k_4 + \\
 & \dot{x}(k_1 k_3 k_4 c_1 + k_1 k_2 k_3 c_1 + k_1 k_2 k_4 c_3 + k_1 k_3 k_4 c_3 + k_1 k_2 k_3 c_4 + k_2 k_3 k_4 c_1) + \\
 & \ddot{x}(k_1 k_3 c_1 c_4 + k_1 k_4 c_1 c_3 + k_1 k_2 c_1 c_3 + k_1 k_3 c_1 c_3 + k_1 k_2 c_3 c_4 + k_1 k_3 c_3 c_4 + k_2 k_4 c_1 c_3 + k_3 k_4 c_1 c_3 + k_2 k_3 c_1 c_4) + \\
 & \ddot{x}(k_1 c_1 c_3 c_4 + k_2 c_1 c_3 c_4 + k_3 c_1 c_3 c_4)
 \end{aligned} \tag{6.29}$$

Rezolvarea acestei ecuații s-a făcut pe cale numerică, folosind un soft specializat. Rezolvarea poate fi abordată pe două căi:

- presupunând legi cunoscute de variație a forței și determinând răspunsul în deplasare al sistemului (abordare dinamică);
- presupunând legi cunoscute de variație a deplasării și determinând răspunsul în forță al sistemului (abordare cinematică).

Pentru a solicita modelul complex au fost folosite cinci tipuri de excitație care sunt prezentate în tabelul 6.2:

Tabelul 6.2 Tipuri de excitație folosite pentru solicitarea modelului complex

	Răspunsul în deplasare			Răspunsul în forță		
	Răspunsul în timp	Răspunsul în planul fazelor	Curba forță - deplasare	Răspunsul în timp	Răspunsul în planul fazelor	Curba forță - deplasare
Excitație unitară	Excitație dinamică			Excitație cinematică		
Excitație impulsivă						
Excitație neperiodică						
Excitație multiplă						
Excitație armonică						

Prin excitația modelului complex cu ajutorul tipurilor de acțiuni prezentate mai sus am urmărit obținerea a trei tipuri de grafice, sugestive pentru ilustrarea comportării sistemului și anume:

1. răspunsul în timp
2. răspunsul în planul fazelor și în cadrul acestuia s-a notat (a) deplasare - viteză; (b) forță - viteză de variație a forței
3. curba forță – deplasare

În cele ce urmează am ales să prezint răspunsul sistemului considerat în cazul în care excitația este armonică.

Răspunsul în deplasare - Excitație dinamică armonică

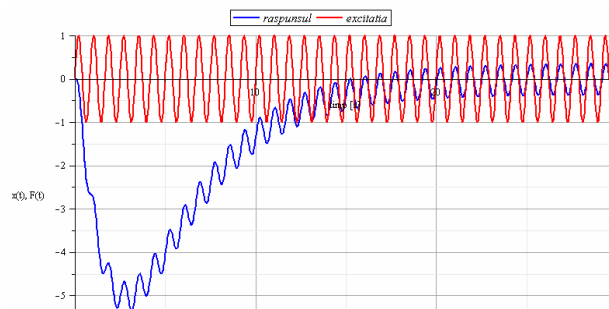


Fig. 6.30 Răspunsul în timp

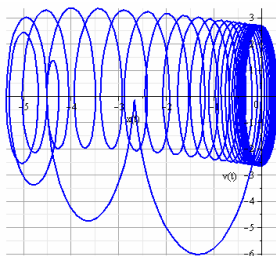


Fig. 6.31 Răspunsul în planul fazelor

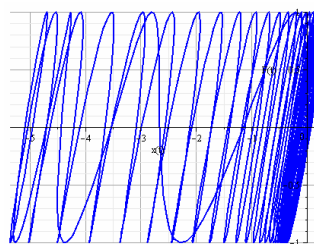
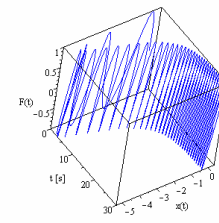


Fig. 6.32 Curba forță - deplasare



Răspunsul în forță - Excitație cinematică armonică

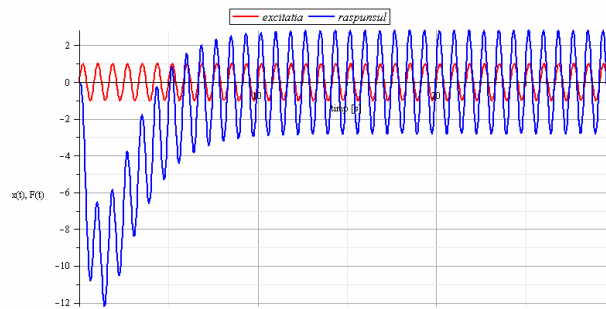


Fig. 6.45 Răspunsul în timp

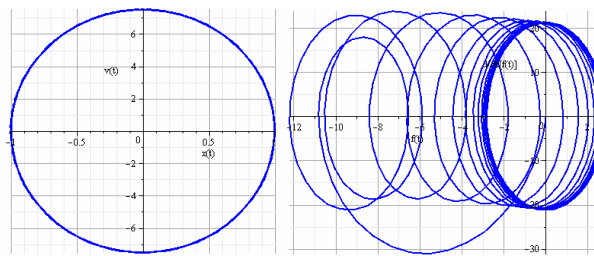


Fig. 6.46 Răspunsul în planul fazelor
(a) deplasare - viteză; (b) forță - viteză de variație a forței

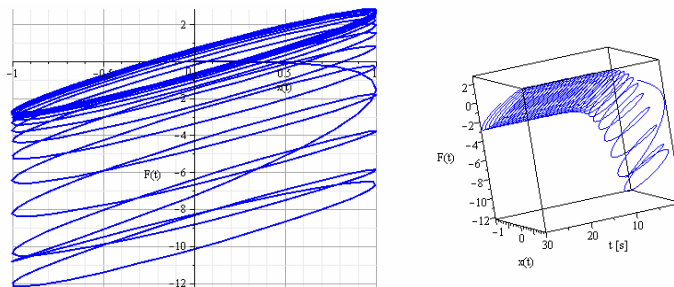


Fig. 6.47 Curba forță - deplasare

6.4 Evaluări optime ale parametrilor esențiali în procesul de izolare dinamică - compatibilizarea de configurație

Studiul de caz adoptat în acest capitol ia în considerare modelul dinamic al unei structuri rigide, rezemată pe sisteme de izolare elastomerice. Ipoteza de bază pentru studiu a fost adoptarea unui plan de simetrie vertical transversal de simetrie pentru structura rigidă, motivația pentru această alegere rezultând în urma studiului făcut în debutul prezentului capitol.

Parametrii fizici pentru modelul analizat sunt:

$$a = 7.5 \text{ m}$$

$$b_2 = 8 \text{ m}$$

$$b_3 = 12 \text{ m}$$

$$h = 7 \text{ m}$$

$$J_x = 42 \times 10^6 \text{ kgm}^2$$

$$J_y = 25 \times 10^6 \text{ kgm}^2$$

$$J_z = 17.5 \times 10^6 \text{ kgm}^2$$

Valoarea masei structurii rigide analizată în acest subcapitol este de 3000 t, corespunzând unei clădiri cu patru etaje, iar pentru coeficienții de rigiditate, atât pe direcție verticală, cât și pe direcție orizontală a fost considerat pentru analiză un set de șase valori (notate în teză cu varianta 1,...varianta 6), prezentat în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3 Set de valori ale rigidităților considerate în analiza modelului propus

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5	Varianta 6
k_x [N/m]	2×10^6	4×10^6	8×10^6	16×10^6	32×10^6	64×10^6
k_y [N/m]	2×10^6	4×10^6	8×10^6	16×10^6	32×10^6	64×10^6
k_z [N/m]	8×10^6	16×10^6	32×10^6	64×10^6	128×10^6	256×10^6

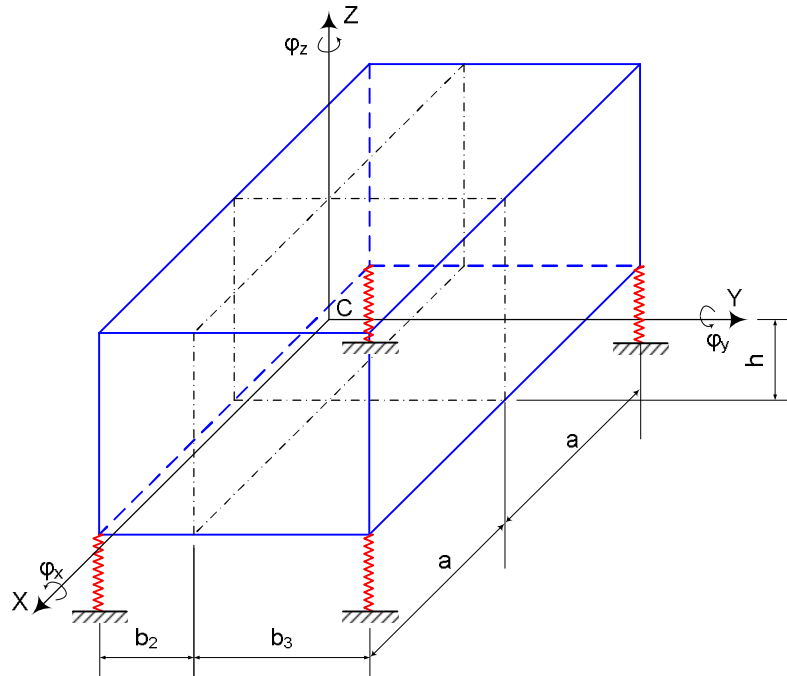


Fig. 6.48 Modelul dinamic al solidului rigid, cu un plan vertical transversal de simetrie

Pe baza parametrilor fizici ai modelului considerat au fost determinate o serie de mărimi semnificative ale sistemului structură-izolator și anume: valori proprii, pulsații proprii, frecvențe și vectori proprii. Calculul mărimilor în discuție a fost realizat pentru cele două subsisteme (Y, Z, φ_x) și (X, φ_y, φ_z) rezultate prin decuplarea sistemului general al ecuațiilor de mișcare a structurii.

În continuare, pentru a face o analiză a sistemului considerat din punct de vedere al performanțelor de izolare împotriva vibrațiilor și/sau undelor de tip seismic, se propune determinarea unui parametru de interes care este transmisibilitatea forței. Transmisibilitatea se definește ca raport între amplitudinea forței transmise și amplitudinea forței excitatoare.

Pentru fiecare subsistem analizat în parte și pentru fiecare pereche de rigidități considerată au fost evaluate, cu ajutorul soft-ului MATLAB, grafice de dependență ale amplitudinilor gradelor de libertate cuplate și ale transmisibilităților de pulsația excitației ω (figurile 6.50,...6.61). Dintre graficele obținute le voi prezenta în cele ce urmează doar pe cele corespunzătoare variantelor 1 și 6 pentru fiecare subsistem în parte, pentru a avea o vedere de ansamblu a comportării subsistemelor analizate.

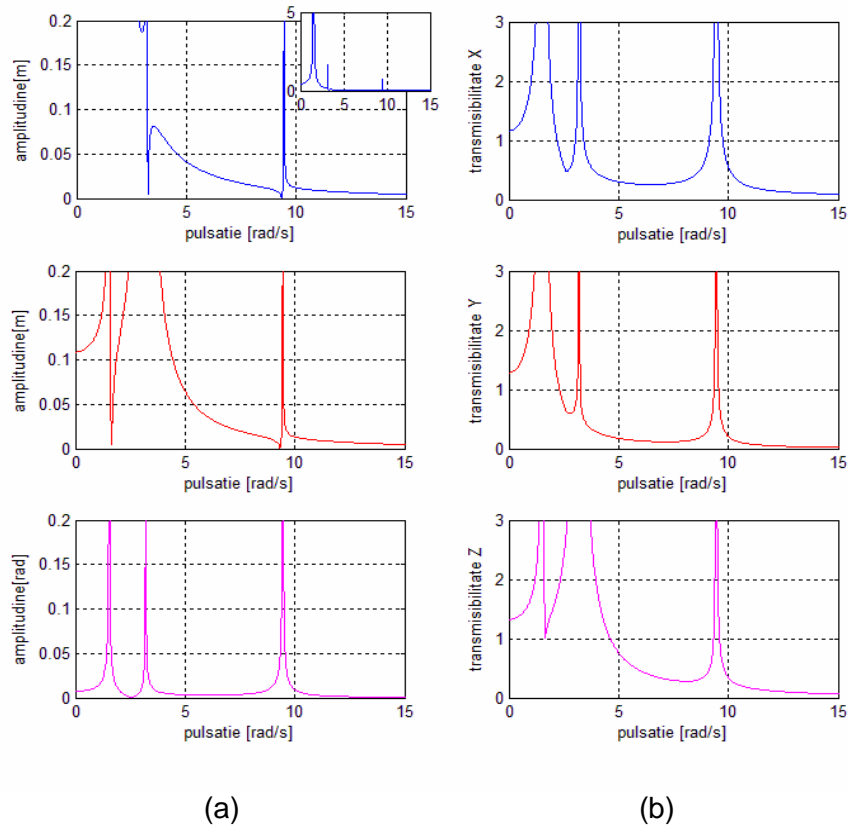


Fig. 6.50 Dependența amplitudinilor (a) gradelor de libertate cuplate (y, z, φ_x) și a transmissibilităților (b) de pulsația excitației ω - varianta 1

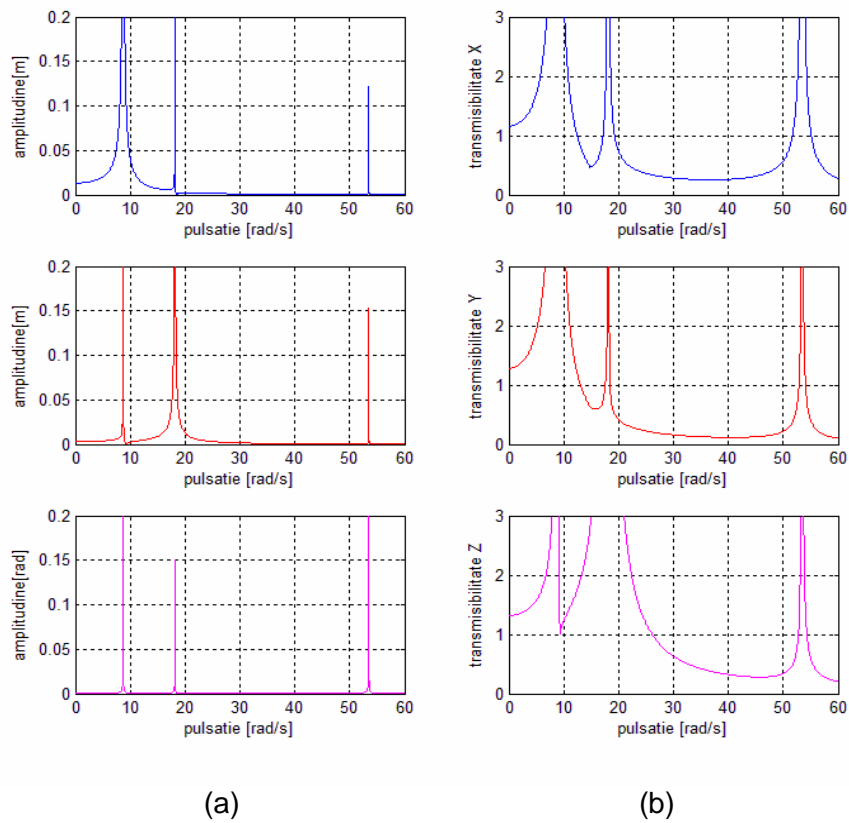


Fig. 6.55 Dependența amplitudinilor (a) gradelor de libertate cuplate (y, z, φ_x) și a transmissibilităților (b) de pulsația excitației ω - varianta 6

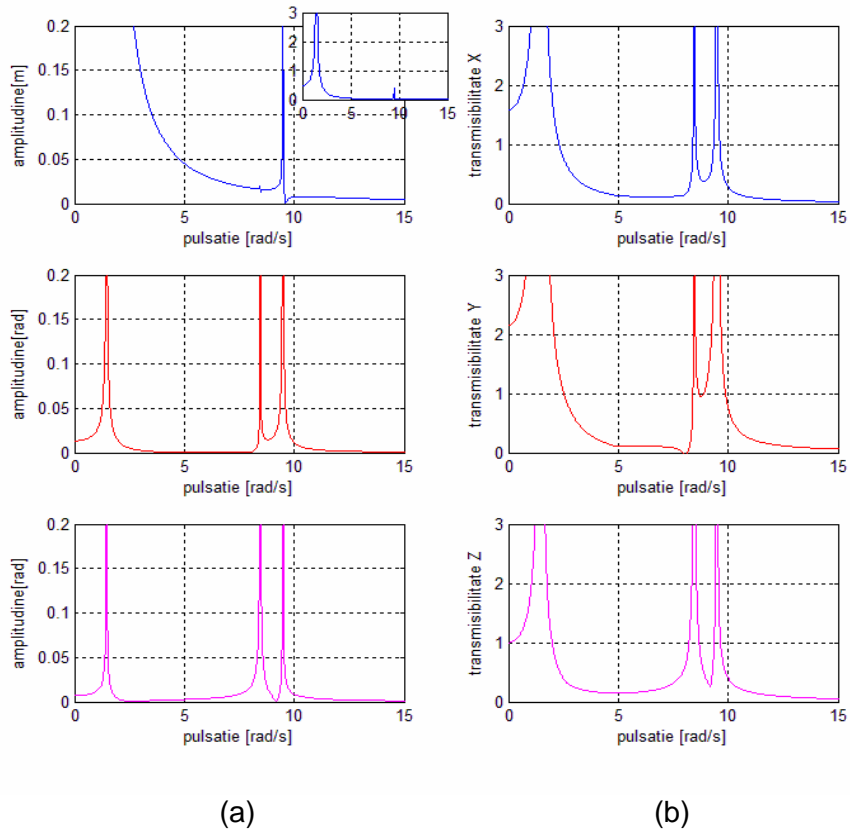


Fig. 6.56 Dependența amplitudinilor (a) gradelor de libertate cuplate (x, φ_y, φ_z) și a transmisibilităților (b) de pulsația excitației ω - varianta 1

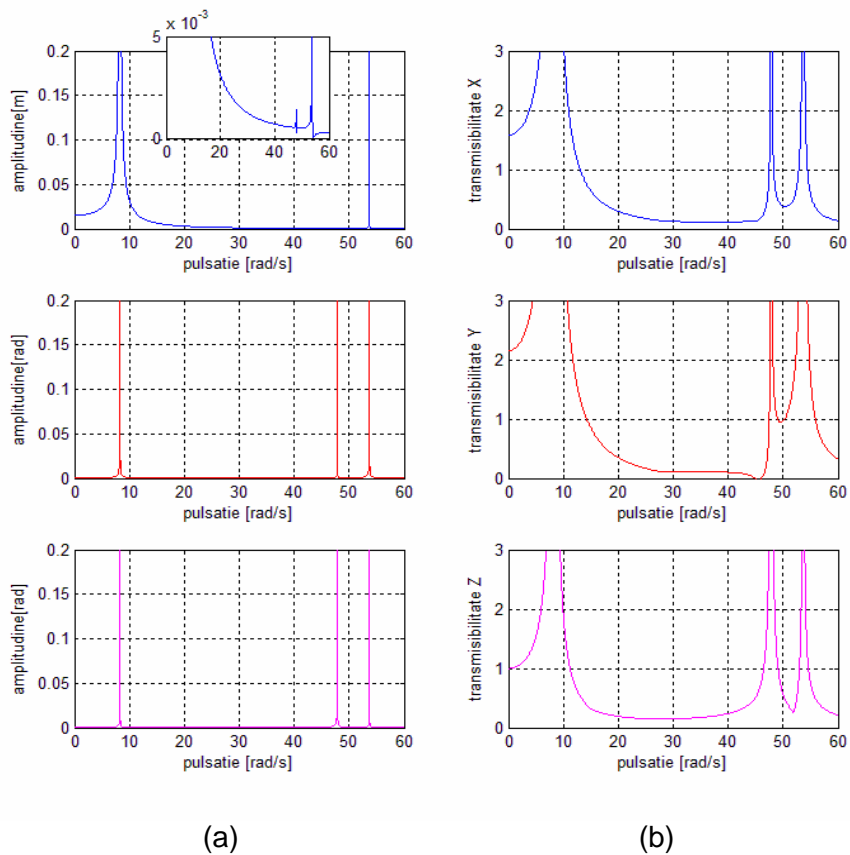


Fig. 6.61 Dependența amplitudinilor (a) gradelor de libertate cuplate (x, φ_y, φ_z) și a transmisibilităților (b) de pulsația excitației ω - varianta 6

6.5 Estimări corelative ale configurațiilor efective de utilizare ale elementelor elastomerice vibroizolatoare - compatibilizarea de formă

În cadrul prezentului subcapitol am ales pentru analiză un număr de șase elemente elastomerice vibroizolatoare și le-am studiat comportamentul folosind un mediu specializat de analiză cu elemente finite și anume softul ALGOR.

Elementele considerate pentru analiză au fost împărțite, în funcție de dimensiuni, în două grupuri: grupul primelor patru elemente prezentate, produse de firma ALGA, și grupul format din ultimele două elemente de tip AB4 – ICECON SA.

Studiul făcut asupra acestor grupuri de elemente și-a propus determinarea în primă fază a modurilor proprii de vibrație. S-a realizat analiza modală în mediul ALGOR și am considerat important pentru studiu vizualizarea primelor 30 de frecvențe proprii pentru că aceste frecvențe sunt semnificative și ele pot influența comportarea sistemului.

În figurile 6.68,...6.73 se prezintă comportarea într-un mod propriu de vibrație sugestiv pentru fiecare dintre cele șase elemente de izolare propuse analizei.

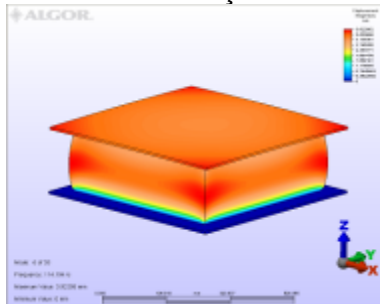


Fig. 6.68 Comportarea elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă paralelipipedică, tip ALGA, în modul propriu de vibrație 6

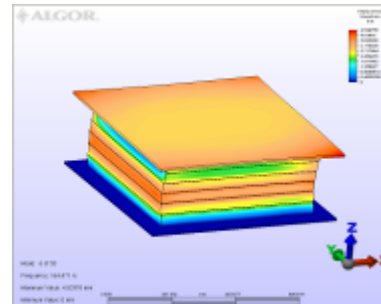


Fig. 6.69 Comportarea elementului de izolare compozit (elastomer - tole metalice), cu formă paralelipipedică, tip ALGA, în modul propriu de vibrație 6

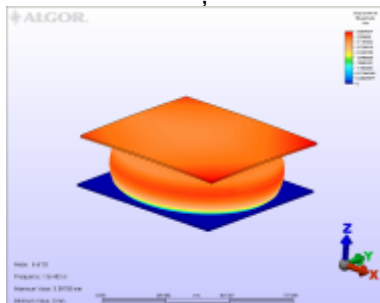


Fig. 6.70 Comportarea elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă cilindrică, tip ALGA, în modul propriu de vibrație 6

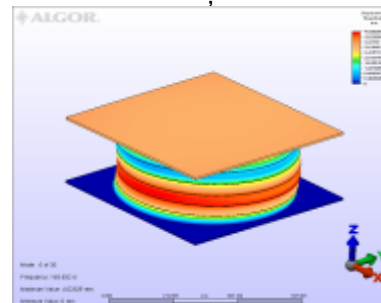


Fig. 6.71 Comportarea elementului de izolare compozit (elastomer - tole metalice), cu formă cilindrică, tip ALGA, în modul propriu de vibrație 6

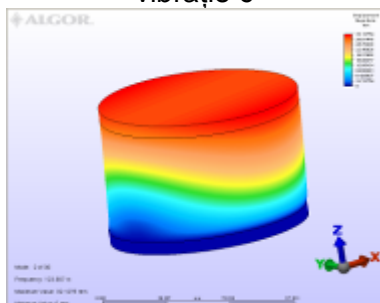


Fig. 6.72 Comportarea elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă cilindrică, tip ICECON, în modul propriu de vibrație 2

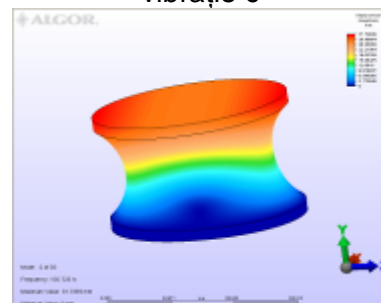


Fig. 6.73 Comportarea elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă de hiperboloid cu o pânză, tip ICECON, în modul propriu de vibrație 2

Având la dispoziție rezultatele analizei modale prin raportul oferit de mediul ALGOR, am realizat, cu ajutorul softului MATLAB, pentru ambele grupuri de elemente de izolare analizate, graficele de evoluție ale frecvențelor în funcție de modurile proprii de vibrație.

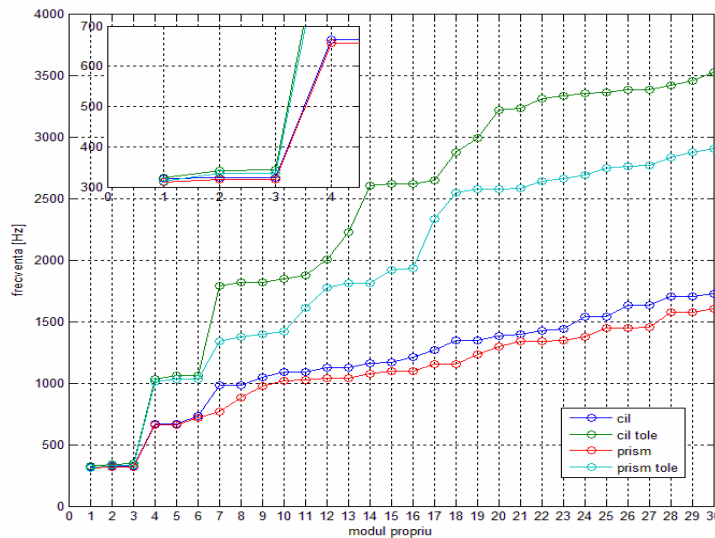


Fig. 6.74 Evoluția frecvențelor în funcție de modurile proprii de vibrație pentru elementele de izolare elastomerice tip ALGA

Se observă în graficul din figura 6.74 că pentru grupul elementelor de izolare tip ALGA, atât cele fără tole metalice cât și cele cu tole, comportamentul este similar în sensul creșterii frecvenței o dată cu trecerea către modurile proprii superioare de vibrație.

Mai mult, pentru primele trei moduri proprii de vibrație, într-o primă aproximație, se poate spune că frecvențele au o valoare constantă indiferent de forma geometrică a elementului, de prezența sau absența tolelor metalice.

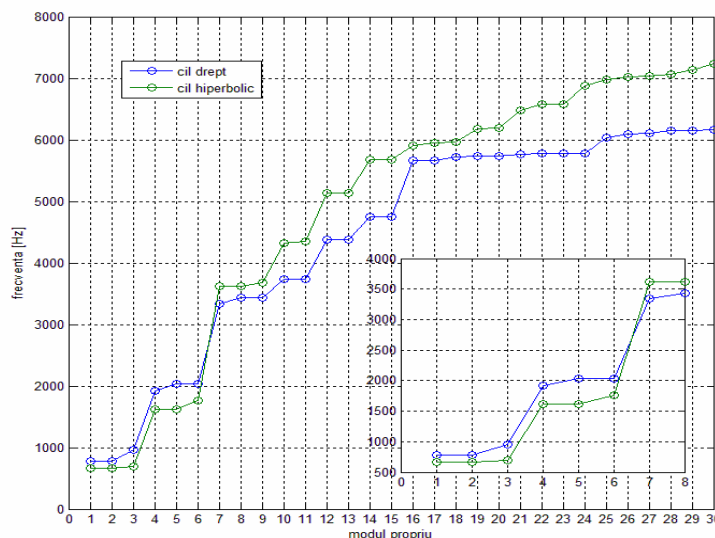


Fig. 6.75 Evoluția frecvențelor în funcție de modurile proprii de vibrație pentru elementele de izolare elastomerice tip ICECON

În graficul din figura 6.75 se observă evoluția elementelor de izolare elastomerice tip ICECON. Ambele elemente fiind realizate integral din elastomer, fără tole, comportamentul din punct de vedere al dependenței frecvențelor de modurile proprii diferă doar în funcție de forma geometrică (cilindru sau hiperboloid).

În continuare, pentru o a doua fază a studiului, mi-am propus să analizez comportamentul sistemelor de izolare elastomerică sub acțiunea unor solicitări de tip forță cu componente atât pe direcție verticală cât și pe direcție orizontală, pentru a simula atât efectul real al încărcării date de structură (cu influență pe direcție verticală), cât și efectul perturbator dat de o excitație de natură seismică (cu influență și pe direcție verticală dar mai ales pe direcție orizontală).

În urma analizei MES am ales să prezint în figurile 6.76,...6.87 deplasările componentelor elementelor de izolare elastomerică și deformațiile globale ale sistemelor considerate.

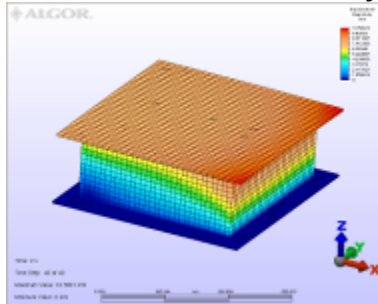


Fig. 6.76 Deplasări ale componentelor elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă paralelipipedică, tip ALGA

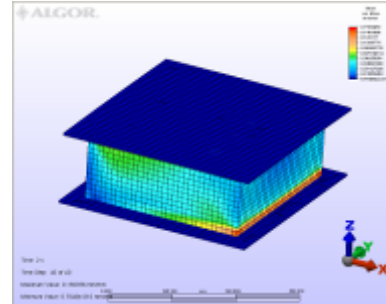


Fig. 6.77 Deformații în elementul de izolare realizat integral din elastomer, cu formă paralelipipedică, tip ALGA

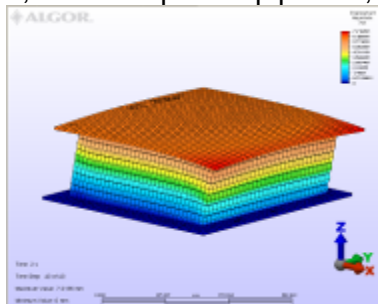


Fig. 6.78 Deplasări ale componentelor elementului de izolare compozit (elastomer - tole metalice), cu formă paralelipipedică, tip ALGA

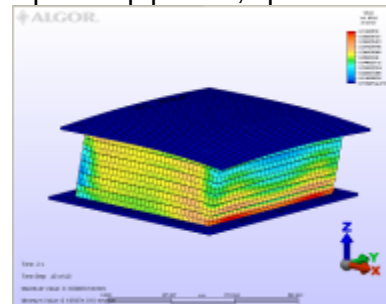


Fig. 6.79 Deformații în elementul de izolare compozit (elastomer - tole metalice), cu formă paralelipipedică, tip ALGA

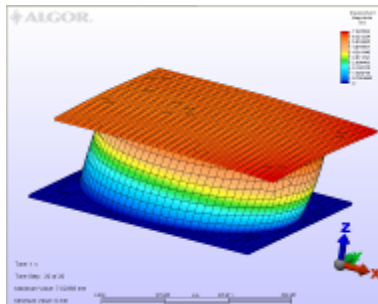


Fig. 6.80 Deplasări ale componentelor elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă cilindrică, tip ALGA

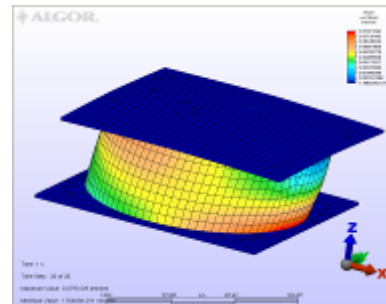


Fig. 6.81 Deformații în elementul de izolare realizat integral din elastomer, cu formă cilindrică, tip ALGA

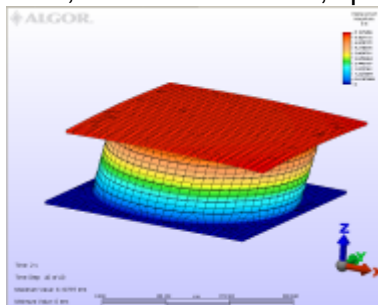


Fig. 6.82 Deplasări ale componentelor elementului de izolare compozit (elastomer - tole metalice), cu formă cilindrică, tip ALGA

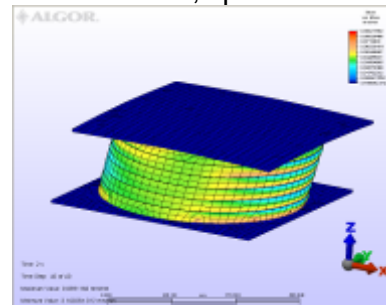


Fig. 6.83 Deformații în elementul de izolare compozit (elastomer - tole metalice), cu formă cilindrică, tip ALGA

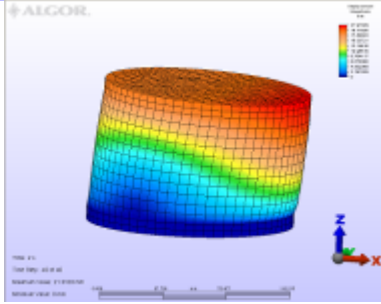


Fig. 6.84 Deplasări ale componentelor elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă cilindrică, tip ICECON

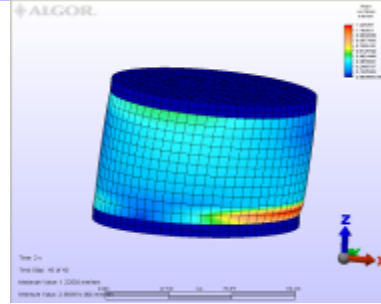


Fig. 6.85 Deformații în elementul de izolare realizat integral din elastomer, cu formă cilindrică, tip ICECON

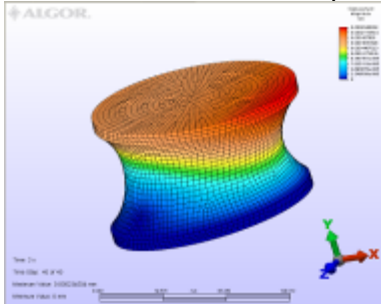


Fig. 6.86 Deplasări ale componentelor elementului de izolare realizat integral din elastomer, cu formă de hiperboloid cu o pânză, tip ICECON

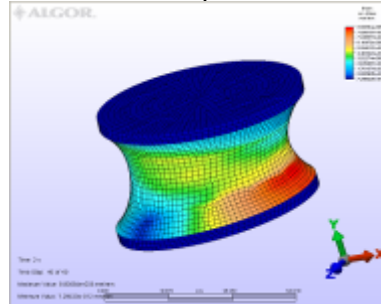


Fig. 6.87 Deformații în elementul de izolare realizat integral din elastomer, cu formă de hiperboloid cu o pânză, tip ICECON

Pe baza rezultatelor oferite de mediul ALGOR au fost realizate grafice care evidențiază evoluția deplasărilor componente elastomerice a elementului de izolare pe înălțimea elementului și grafice care oferă informații asupra modului de evoluție al deformațiilor sistemului în funcție de înălțimea elementului de izolare.

Astfel, în figura 6.88 se observă evoluția deplasărilor în funcție de înălțimea elementului elastomeric pentru cele 4 elemente tip ALGA. Astfel, se poate remarca că elementele fără tole au deplasări semnificativ mai mari decât cele care prezintă tole metalice, iar dintre cele două forme geometrice, elementul cu formă paralelipipedică capătă valorile cele mai mari pentru deplasări. Elementele de izolare cu tole metalice au evoluții asemănătoare, atât ca și alură a curbelor cât și valoric.

În privința elementelor de izolare tip ICECON, deplasările se pot vizualiza pe graficul din figura 6.90 și au evoluții diferite pe înălțimea elementului, evoluții dependente de forma lor geometrică. Astfel, elementul cu formă geometrică de hiperboloid are o evoluție rapidă, aproape liniară, până în dreptul valorii de 20 mm pentru deplasare, apoi evoluează lent către valoarea maximă. Elementul cilindric are o evoluție lentă și continuă pe întreg graficul, iar valoarea finală a deplasării este sensibil mai mică față de valoarea căpătată în cazul elementului de tip hiperboloid.

Graficele de dependență ale deformațiilor sistemului funcție de înălțimea elementului elastomeric sunt redată în figurile 6.89 și 6.91. În figura 6.89 se pot observa graficele pentru elementele de tip ALGA care au fost realizate separat, din cauza evoluției complet diferite care apare de la un element la altul. Se poate observa că în cazul elementului cilindric fără tole metalice evoluția este continuă în sensul creșterii pe înălțime iar în cazul elementului paralelipipedic fără tole evoluția este rapidă doar la valori mici ale înălțimii elastomerului, apoi devine lentă, prezentând deformații specifice mici. În cazul elementelor de izolare cu tole, evoluțiile sunt specifice deoarece tolele nu capătă deformații și încearcă să mențină sistemul nedeformat iar straturile de elastomer au deformații, de aici rezultând alura graficelor din figura 6.89 (al doilea și al patrulea grafic).

Pentru elementele de izolare de tip ICECON din figura 6.91, se observă evoluții similare ale deformațiilor specifice, în sensul creșterii acestora pe înălțimea elastomerului, creștere rapidă la valori mici ale înălțimii și lentă cu cât ne apropiem mai mult de valoarea maximă a înălțimii elementului elastomeric.

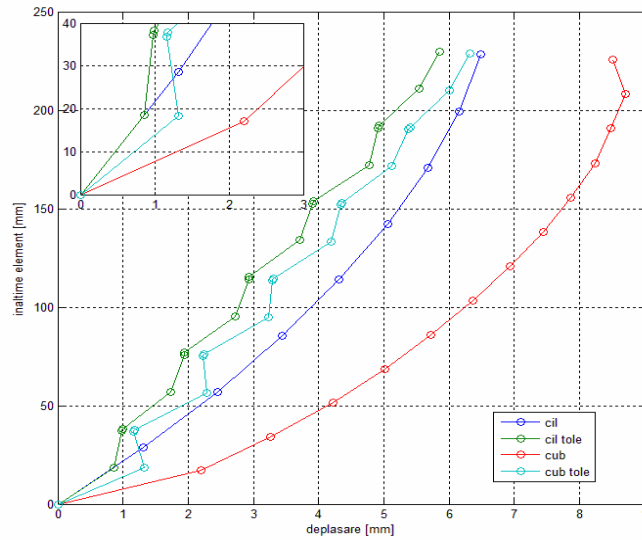


Fig. 6.88 Graficul de dependență al deplasărilor componente elastomerice din sistem în funcție de înălțimea elementului de izolare, pentru elementele de tip ALGA

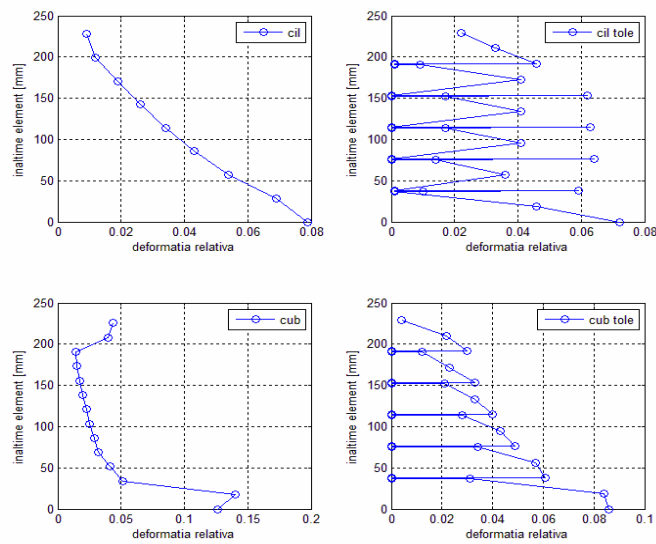


Fig. 6.89 Graficul de dependență al deformațiilor sistemului în funcție de înălțimea elementului elastic, pentru elementele de tip ALGA

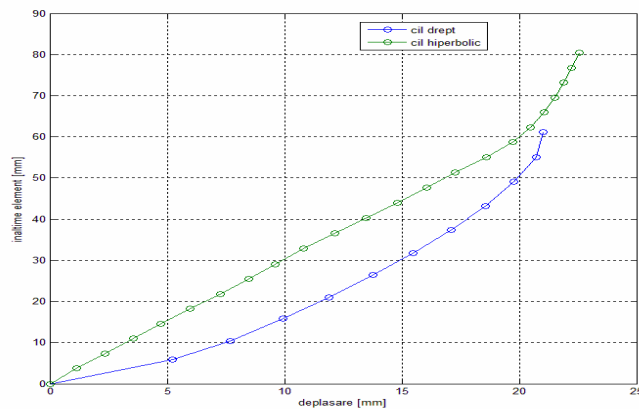


Fig. 6.90 Graficul de dependență al deplasărilor componente elastomerice din sistem în funcție de înălțimea elementului de izolare, pentru elementele de tip ICECON

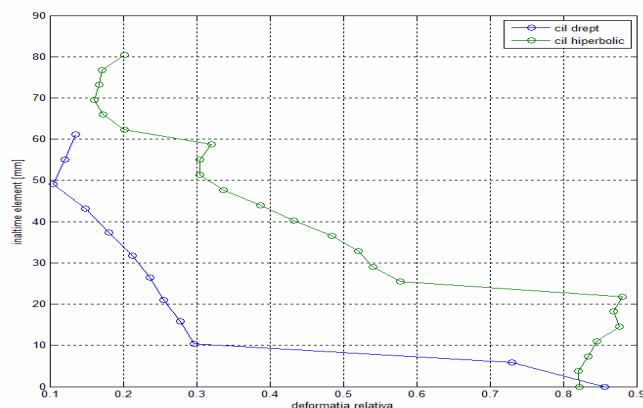


Fig. 6.91 Graficul de dependență al deformațiilor sistemului în funcție de înălțimea elementului elastomeric, pentru elementele de tip ICECON

6.6 Concluzii parțiale

Ansamblul rezultatelor obținute în acest capitol al tezei oferă suportul necesar unei analize comparative a modurilor de comportare a sistemului acțiune seismică – fundație – izolator – structură, în scopul compatibilizării tuturor elementelor componente în vederea obținerii unor performanțe superioare de izolare dinamică.

Astfel, în paragraful destinat analizei generalizate a reologiei complexe pentru diferitele configurații structural-funcționale ale sistemelor de izolare pe bază de materiale elastomerice au fost determinate și prezentate informații esențiale cu privire la **compatibilizarea de tip**. Aspectele reologice au o importanță deosebită datorită faptului că acestea formează baza de lucru necesară atât pentru abordările ulterioare de tip model cu mase concentrate, cât și pentru simulări pe modele cu masă distribuită.

Următoarea abordare a fost cea referitoare la **compatibilizarea de configurație**. În acest paragraf au fost realizate seturi de analize corespunzătoare unor variații parametrice ale caracteristicilor sistemelor de izolare utilizând un model cu masă concentrată și distribuție geometrică spațială. Tipul de model a fost stabilit în urma unui studiu critic comparativ al clădirilor monumentale din România. Rezultatele obținute au relevat faptul că influența valorilor parametrilor esențiali ai izolatorilor se manifestă în special asupra domeniului de frecvență care conține valorile proprii ansamblului studiat. A fost observată o tendință generală de grupare a rezonanțelor proprii în funcție de tipul gradelor de libertate din cadrul fiecărui subsistem în parte. Astfel, pentru subsistemul care conține două grade de libertate de tip translație se observă gruparea frecvențelor proprii în zona inferioară a spectrului, iar pentru subsistemul cu două grade de libertate de tip rotație tendința de grupare a frecvențelor proprii se manifestă în zona superioară a spectrului. De asemenea, o dată cu rigidizarea sistemului de rezemare s-a constatat o deplasare spre dreapta a zonei proprii de distribuție spectrală a sistemului considerat, cu menținerea tendințelor prezentate anterior.

Cea de a treia abordare se referă la o serie de estimări ale răspunsurilor elementelor izolatoare pe bază de materiale elastomerice atât din punct de vedere static, cât și dinamic. Au fost considerate două grupuri de elemente clasificate în funcție de domeniul de utilizare și anume: elemente cu dimensiuni de gabarit mari – pentru izolarea clădirilor în general, respectiv elemente de dimensiuni reduse - pentru izolarea unor subansamble structurale sau a unor echipamente înglobate. Din punctul de vedere al configurațiilor geometrice efective, au fost analizate cele mai des întâlnite forme și anume: paralelipipedic, cilindric drept și hiperboloid (cu o singură pânză), iar referitor la configurația structurală, acestea au fost considerate a fi realizate integral din material elastomeric, respectiv din straturi succesive de elastomer cu tole metalice. ansamblul variatelor considerate în analiză a rezultat în urma studiului aprofundat al tipologiilor disponibile la momentul actual în oferta firmelor de profil. În esență, studiile și cercetările din acest subcapitol al tezei oferă suportul complet pentru cea de a treia direcție principală de compatibilizare și anume **compatibilizarea de formă**.

CAPITOLUL VII

CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

7.1 Concluzii generale

Toate sistemele practice de izolare trebuie să îndeplinească o serie de cerințe esențiale, definite prin flexibilitate, amortizare și rezistență la solicitările din exploatare, cele trei elemente reprezentând de fapt criteriile de performanță.

Conceptul de compatibilizare din punct de vedere structural și funcțional a configurațiilor optime de implementare a sistemelor elastomerice de izolare a bazei, ținând cont de dependențele corelative dintre caracteristicile acțiunilor perturbatoare și parametrii de bază ai structurilor izolate, a reprezentat ideea centrală și fundamentală a lucrării de față.

În această teză am abordat compatibilizarea ca pe un proces care se desfășoară în mai multe etape, se inițiază la nivel global - pentru a observa comportamentul ansamblului structură-izolator-teren și se dezvoltă prin aprofundare la nivel local (la nivelul elementului izolator de bază) – pentru detalierea comportamentului în regim dinamic intens și variat de exploatare a izolatorului, iar rezultatele obținute, evidențiate prin răspunsul global al elementului de izolare, se pot generaliza printr-o reevaluare globală a întregului sistem – cu încorporarea ansamblului de rezultate parțiale într-un model general cu aplicabilitate extinsă în funcție de configurațiile efective și de starea de solicitare dinamică.

Modelele simplificate (cu mase concentrate) nu iau în considerare toate categoriile de informații cu privire la evoluția calitativă și cantitativă a unui element izolat în condiții normale de exploatare.

Modelele cu mase distribuite, care se rezolvă în general utilizând metoda elementului finit, nu oferă informații globale, generale cu privire la evoluția întregului ansamblu reazem-izolator-structură. Acestea însă oferă informații detaliate la nivel de element (influența formei prin intermediul coeficientului de formă, neliniarități de material, neliniarități geometrice locale/zonale, evoluții particulare în funcție de complexitatea locală/zonală a solicitărilor exterioare).

Procesul de compatibilizare ține cont de un ansamblu coerent de factori care să poată caracteriza complet comportarea în regim de exploatare intens și variat a aparatelor de reazem de tip vâsco-elastic. Astfel, în teză am considerat compatibilizarea ansamblului *acțiune perturbatoare – izolator – răspuns structural* a fi o metodă cu caracter profund aplicativ și am analizat răspunsul sistemului după trei direcții principale și anume:

- **compatibilizare de tip** – obiectivul urmărit în această etapă a fost realizarea unui model reologic unitar și rezolvarea lui atât printr-o abordare analitică, cât și printr-o abordare numerică în funcție de tipul elementului, din punct de vedere al caracteristicilor sale statice/dinamice;

- **compatibilizare de configurație** – în această etapă au fost analizate critic o serie de construcții civile de interes public (clădiri monumentale), din punct de vedere al configurației structurale și au fost evaluați parametrii esențiali de izolare pentru configurațiile funcționale ale ansamblului structură – izolator;

- **compatibilizare de formă** – în această etapă s-a studiat comportamentul unui set de elemente elastomerice vibroizolatoare cu diferite forme geometrice și structuri interne, și s-a urmărit analiza modurilor proprii de vibrație, precum și analiza răspunsului sistemului în condiții de încărcare provenite din excitații externe perturbatoare (analiza deplasărilor componentelor sistemului și a deformațiilor acestuia).

Cele trei direcții principale de compatibilizare propun o abordare unitară a modului actual de evaluare și implementare a sistemelor de izolare structurală împotriva acțiunilor dinamice perturbatoare. Aportul principal al acestui studiu este dat nu atât prin stabilirea procedurală a unor etape de lucru, cât printr-o fundamentare teoretică, numerică și experimentală, complexă, a unei game de situații posibile în domeniu.

Trebuie evidențiată necesitatea utilizării ca date de intrare primare a caracteristicilor de material (tip E,G, μ), care să poată fi „particularizate” (sau să li se încorporeze „informații de

configurație”) rezultând astfel seturi de rigidități (k_x , k_z) disponibile pentru simulări pe modele simplificate (cu mase concentrate).

Legătura sistemică dintre componentele de compatibilizare este asigurată prin următoarele elemente de bază:

- abordarea simplificată și unitară pe fiecare componentă asigură suportul necesar preluării și înglobării rezultatelor într-un mod corelativ și biunivoc;
- fiecare componentă are ca obiectiv central evaluarea stării potențiale de vulnerabilitate, în conformitate cu tipul de abordare adoptat și cu schematizarea de bază utilizată, toate acestea fiind acordate pe ideea de stabilire a unor reguli suplimentare care să completeze în mod coerent și concludiv prevederile normative în vigoare la momentul actual;
- sistematizarea din punct de vedere calitativ a situațiilor existente în practica actuală cu privire la tipul de acțiuni reale, caracteristicile sistemelor de izolare și, respectiv, răspunsul structural preconizat (impus prin reglementări normative).

În esență, prin cercetările prezentate în această teză autorul a încercat și a reușit fundamentarea unui ansamblu de evaluări teoretice și experimentale care să completeze setul de metode existent la momentul actual referitoare la modul de proiectare și de implementare a sistemelor de izolare antisismică la clădiri monumentale.

Aportul tezei rezultă din preluarea elementelor pozitive ale abordărilor prezentate anterior și asamblarea acestora într-un concept coerent de evaluare sistemică a ansamblului structură-izolator-teren în condiții specifice de exploatare.

7.2 Contribuții personale

Contribuțiile personale ale autorului acestei teze de doctorat sunt prezentate în cele ce urmează:

- ❖ analiza comparativă a soluțiilor utilizate în practica actuală în domeniul izolării bazei cu sisteme elastice și disipative folosind un set de criterii corespunzătoare tipologiei acțiunilor dinamice perturbatoare, configurațiilor multiple ale structurilor izolate și interacțiunilor funcționale la interfața structură - izolator - teren.
- ❖ identificarea și analiza opțiunilor de modelare matematică și simulare computerizată a ansamblului structură - sistem de izolare - fundație ținând cont atât de caracteristicile statice și dinamice ale elementelor reologice de bază, cât și de configurațiile geometrice și parametrii inerțiali specifici sistemelor structurale cu comportare de solid rigid.
- ❖ analiza sistemică a răspunsului dinamic al structurii în regim de izolare a bazei folosind seturi multiple de configurații spațiale ale elementelor vâsco-elastice și de caracteristici funcționale specifice acestor elemente.
- ❖ stabilirea și fundamentarea configurațiilor optime de implementare a sistemelor de izolare a bazei pentru structuri rigide monobloc.
- ❖ evaluări directe pe baza încercărilor experimentale atât în ceea ce privește comportarea în regim dinamic a structurilor rigide cu rezemare multiplă, cât și a caracteristicilor elastice și disipative reale pentru diferite categorii de elemente vibro-izolatoare.
- ❖ formularea conceptului de compatibilizare aplicat ansamblului *acțiune seismică – izolator – răspuns structural* și fundamentarea direcțiilor principale de compatibilizare.
- ❖ analiza corelativă în scopul compatibilizării structurale și funcționale a configurațiilor optime de izolare a bazei ținând cont de rezultatele obținute în fiecare etapă de studiu, pentru parametrii caracteristici ai ansamblului bipolar *acțiune perturbatoare - izolator - răspuns dinamic*.

7.3 Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare de cercetare în domeniul acestei teze se conturează pornind de la rezultatele obținute în legătură cu procesul de compatibilizare multiplă a ansamblului acțiune – izolator – structură și vor urmări:

- a) includerea abordărilor reologice neliniare în compatibilizarea de tip;
- b) majorarea numărului de parametri monitorizați în cadrul compatibilizării de configurație;
- c) îmbunătățirea preciziei de estimare a parametrilor esențiali pentru compatibilizarea de formă.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [3] Awrejcewicz, J., Dzyubak, L., *Influence of hysteretic dissipation on chaotic responses*, Journal of Sound and Vibration, 284, 513-519, 2005;
- [9] Bratu, P., *Influența sistemului elastic de amortizare asupra parametrilor dinamici la cilindrii compactori vibratorii*. Teză de doctorat. Institutul de Construcții București, 1980;
- [10] Bratu, P., *Izolarea și amortizarea vibrațiilor la utilaje de construcții*, Ed. INCERC, București, 1982;
- [11] Bratu, P., *Sisteme elastice de rezemare pentru mașini și utilaje*, Ed. Tehnică, București, 1990;
- [13] Bratu, P., *Vibrații mecanice. Teorie. Aplicații tehnice*, Editura Impuls, București, 1998;
- [14] Bratu, P., *Vibrațiile sistemelor elastice*, Ed. Tehnică, București, 2000;
- [15] Bratu, P., *Analiza structurilor elastice. Comportarea la acțiuni statice și dinamice*, Ed. Impuls, București, 2011;
- [17] Bratu, P., *Estimation of the internal energy dissipated inside materials with viscous rheological non-linear inertial subjected to harmonic inertial disturbing force*, Int. Conference on Engineering Rheology, ICER, '99, Zielono Gora, 27 – 30 iunie 1999 (Polonia);
- [18] Bratu, P., Mihalcea, A., Năstac, S., Kolumban, V., *Hyper elastic systems intended for base isolation*, Proceeding of the Int. Symp. „Modern Systems for mitigation of seismic action”, 31.10 – 1.11.2008, ASTR, București, România;
- [20] Bratu, P., *Base isolation and dissipation systems subjected to seismic action*, Proc. Int. Conf. „Constructions 2008”, Cluj-Napoca, 9 – 10 May 2008, România;
- [21] Bratu, P., *Experimental evaluation of the antivibrating damping capacity in case of elastomers used for tram railway supportins*, Materiale plastice, vol. 46, nr. 2, iunie 2009;
- [22] Bratu, P., *Rheological model of the neopren elements used for base isolation against seismic actions*, Materiale plastice, vol. 46, nr. 3, sept. 2009;
- [23] Bratu, P., Drăgan, N., *Innovative composite systems for vibration and mechanical shocks damping. Numerical non-linear modeling*, The 5th International Vilnius Conference and EURO Mini Conference “Knowledge-Based Technologies and OR Methodologies for Decisions of Sustainable Development” (KORS-D-2009) held on September 30–October 3, 2009, Vilnius, Lithuania;
- [24] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, *The effect of internal dissipation of energy in composite neopren support used for isolating basis under seismic actions*, A 8-a Conferință Internațională Acustică.Vibrații.Acțiuni seismice.Sisteme inteligente de protecție, Reșița, 21-23 octombrie 2009, ISSN 1584-7284;
- [25] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, *Efectul disipării interne a energiei în reazemele din neopren compozit folosite la izolarea bazei sub acțiunea seismică*, Al XV-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, SINUC, București, 17-18 decembrie 2009, ISBN-978-973-100-050-3;
- [26] Bratu, P., *Elastic and damping parameters for vibration insulation system*, INTER-NOISE 2010, the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Lisbon, Portugal, 13-16 June, 2010;
- [27] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., *Nonlinear aspects on rigid structures dynamics with visco-elastic base isolation*, Zilele Academice Timișene, Ediția a XII-a, Simpozionul Acoustics And Vibration Of Mechanical Structures, Academia Română, Filiala Timișoara, 26-27 MAY 2011, Timișoara;
- [28] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., *Considerații asupra dinamicii structurilor rigide cu legături vâsco-elastice neliniare*, A X-a Sesiune de comunicări științifice SIMEC 2011 a Catedrei de Mecanică tehnică și Mecanisme, Facultatea de Utilaj Tehnologic, Universitatea Tehnică de Construcții București, 25 martie 2011, București, România;
- [29] Bratu, P., *Dynamic response features at seismic actions for buildings provided with passive base isolation*, International Institute of Acoustics and Vibration (IIAV), 18th International Congress on Sound and Vibration (ICSV 18), Rio de Janeiro, Brazil, 10 -14 July 2011;
- [30] Bratu, P., Vasile, O., *Modal analysis of the viaducts supported on the elastomeric insulators within the Bechtel constructive solution for the Transilvania Highway*, J. Sound and Vibration, Volume IX, Issue 2, pp. 77-82, ISSN 1584-7284, 2012;

- [31] Bratu, P., Vasile, O., *Evaluation of dissipated energy in the displacement harmonic cycles viscoelastic elastomer anti-seismic insulators testing*, 36th International Conference on mechanics of Solids, Acoustics and Vibrations ICMSAV XXXVI The Academy of Technical Sciences of Romania (ASTR), Department of Technical Mechanics and Technical University of Cluj-Napoca, October 25-26, 2012;
- [39] Chaudhary, M.T.A., Abe, M., Fujino, Y., Yoshida, J., *Performance evaluation of base-isolated Yama-age Bridge with high damping rubber bearings using recorded seismic data*, Engineering Structures, Vol. 23, 902-910, 2001;
- [46] Drăgan, N., Potîrniche, A., *The calculus of the equivalent rigidity coefficients for the shafts of the elastical systems*, The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224 – 5615, 2008;
- [47] Drăgan, N., *Studies on the Mechanical Elastic Systems with nonlinear damping. Power and amplitude numerical analysis*, Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on AUTOMATION & INFORMATION "ICAI'09", ISBN 978-960-474-064-2, ISSN 1790-5117, Prague, March 23-25 2009, pag. 130;
- [49] Drăgan, N., Potîrniche, A., *Analiza experimentală a dinamicii podurilor din beton armat supuse acțiunilor din trafic*, SINUC, București, 16–17 decembrie, 2010, ISBN–978–973–100–144–9;
- [50] Drăgan, N., *Dynamic analysis of the forced steady-state vibration of the mechanical elastic systems with nonlinear damping*, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, vol. X (XX), ISSN 1583-0691, 2011, NR2, pag. 2.32-2.40;
- [51] Drăgan, N., *Considerations on the composite neoprene vibration isolators used for the mechanical systems bearings. The dynamics of the non-linear models*, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering vol. XI (XXI) NR2, ISSN 1583-0691, 2012, pag. 4.35-4.41;
- [52] Dumitrache, P., *Modelarea structurilor de rezistență cu ajutorul metodei elementelor finite – Editura IMPULS, București, 2003, 213 pag., ISBN 973-8132-36-5;*
- [54] Dumitrache, P., Bratu, P., *Dynamic response evaluation of impact loaded strength structural elements, using high-speed video sequence analysis – 5th International Vilnius Conference on sustainable development, 30 septembrie – 3 octombrie 2009, Vilnius;*
- [60] Gârbea, D., *Analiză cu elemente finite*, Editura Tehnică, București, 1990;
- [70] Hamburger, L., Buzdugan, Gh., *Teoria vibrațiilor și aplicațiile ei în construcția mașinilor*, Ed. Tehnică, București, 1958;
- [71] Harris, C.M., Crede, C.E., *Șocuri și vibrații*, vol. II, Ed. Tehnică, București, 1968;
- [72] Harris, C.M., Crede, C.E., *Șocuri și vibrații*, vol. III, Ed. Tehnică, București, 1969;
- [73] Harris, C.M., Piersol, A.G., *Harris' Shock and vibration handbook* (fifth edition), The McGraw-Hill Book Co, ISBN 0-07-137081-1, USA, 2002;
- [76] Iancu, V., *Mechanics of elastomeric bearings*, Workshop exploratoriu Program IDEI „Modelarea reologică avansată în concepție micro și macrostructurală a sistemelor compozite din neopren pentru izolarea bazei la șocuri și vibrații”, Brăila, 17-18.11.2008;
- [80] Iancu, V., *Contribuții privind utilizarea sistemelor de izolare seismică din elastomeri în construcția podurilor*, Teză de doctorat susținută la Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița, pentru obținerea titlului de *Doctor în Domeniul Inginerie Mecanică*, 2011;
- [81] James, M.K., *Base Isolation: Origin and Development*, EERC News, Vol. 12, No. 1, January 1991;
- [88] Leopa, A., Potîrniche, A., *Considerații privind influența comportării neliniare a sistemelor vâscoelastice de rezemare asupra răspunsului dinamic al structurilor*, A X-a Sesiune de comunicări științifice SIMEC 2011 a Catedrei de Mecanică tehnică și Mecanisme, Facultatea de Utilaj Tehnologic, Universitatea Tehnică de Construcții București, 31 martie 2011, ISSN 1842-8045;
- [90] Leopa, A., *Analiza comportării la solicitări dinamice provenite din seisme și trafic rutier a viaductelor cu legături mecanice selective cu disiparea energiei prin efecte vâscoase și prin frecare uscată*, Post-doctoral Research Project PD-597, 2012;
- [91] Leopa, A., Năstac, S., Debeleac, C., *Protection against vibrations, a desideratum of the sustainable development*, The 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2012 Conference Proceedings, Vol. 5, pp.641-648, ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem2012;
- [93] Leopa, A., Năstac, S., Debeleac, C., Căpățână, G., Potîrniche, A., *Identification of parameters characterizing the nonlinear behavior of viscous-elastic systems on dynamic*

- loadings*, The 8th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING", April 19-21, 2012, Tallinn, Estonia;
- [100] Mudurlugu, Afet İşleri Genel, *Specification for Structures to be Built in Disaster Areas*, Ankara, Turcia, 1998;
- [104] Năstac, S., *Analiza dinamică a sistemelor de izolare a vibrațiilor pentru echipamente încorporate în construcții*, Teză de doctorat susținută la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, pentru obținerea titlului de *Doctor în Inginerie Mecanică*, decembrie 2006;
- [106] Năstac, S., Leopa, A., *New structural configurations for vibroisolation devices with high isolation performances*, WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, Issue 5, vol.3, May 2008, ISSN 1991-8747, pp. 155-164;
- [108] Năstac, S., *Advances in Computational Dynamics of Passive Vibration Isolation Devices*, The CD-Proceedings of the 1st EAA-EuroRegio 2010 Congress on Sound and Vibration, ISBN 978-961-269-283-4, Ljubljana, Slovenia, 15-18 September 2010, paper 230, with abstract in Acta Acustica united with Acustica, vol.96, Supplement 1 - 2010, E21 466, ISSN 1610-1928, S5-14, pp.S48;
- [109] Năstac, S., *Computational dynamics of vibroisolation devices for embedded systems*, Chapter 11 in Research Trends in Mechanics, vol. IV, Eds.: Munteanu L., Chiroiu V., Sireteanu T., Ed. Academiei Romane, 2010, ISBN 978-973-27-1945-1, pp. 241-273;
- [110] Năstac, S., **Potîrniche, A.**, *Generalized Linear Viscoelastic Model Intended for Rubber Vibro-isolators Analysis*, The 10th International Conference on Acoustics and Vibration, Romanian Acoustic Society, 29-30 September 2011, Petroșani, România;
- [112] Năstac, S., **Potîrniche, A.**, Leopa, A., *Unified Approach of Basic Visco-Elastic Rheological Models*, The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics - SISOM 2012 and Session of the Commission of Acoustics, Romanian Academy, Academy of Technical Sciences, Commission of Acoustics of Romanian Academy, May 30-31, 2012, Bucharest, România;
- [116] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., *Non-linear computational models for dynamics of neoprene vibration isolation elements*, 1st EAA – EuroRegio 2010, Ljubljana, Slovenia, 15-18 septembrie 2010, ISSN 1610-1928;
- [117] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., *On Hysteretic Dynamics of Passive Isolators at Dynamic Actions*, Annual Symposium Of The Institute Of Solid Mechanics - SISOM 2011 And Symposium of Acoustics, Academy Of Technical Sciences, Commission of Acoustics of Romanian Academy, May 26-27, 2011, Bucharest, România;
- [118] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., *Modelarea reologică complexă a dinamicii vibroizolatoarelor pasive elastomerice*, Al XVII-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții - SINUC 2011, București, 15– 16 Decembrie 2011;
- [119] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., Debeleac, C., Căpățână, G., *On unitary rheological approach of vibration isolation passive devices*, The 8th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING", April 19-21, 2012, Tallinn, Estonia;
- [120] **Potîrniche, A.**, *On evaluation of dynamic isolation for a symmetrical configuration building with antiseismic elastomeric devices*, 10th HSTAM International Congress on Mechanics Chania, Crete, Greece, 25 – 27 May, 2013;
- [121] **Potîrniche, A.**, *Particular Approaches about Symmetrical Structures Dynamics*, Multi-Conference on Systems & Structures (SysStruc '13), "Eftimie Murgu" University of Reșița, 26-28 September 2013, Analele Universității "Eftimie Murgu", Reșița, ISSN 1453-7397;
- [122] **Potîrniche, A.**, *Computational dynamics of elastomeric-based isolation systems for rigid structures*, 5th International Conference "Computational Mechanics and Virtual Engineering" COMEC 2013, 24- 25 October 2013, Brașov, România;
- [123] **Potîrniche, A.**, *Aspects on the dynamic isolation for buildings using pendulum systems*, 4th International Conference on Advanced Engineering in Mechanical Systems, 24-25 October, 2013, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: Applied Mathematics and Mechanics, vol IV, nr.56, p. 829-834, Technical University of Cluj-Napoca, ISSN 1221- 5872;
- [124] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., *Functional correlations regarding passive isolation of symmetrical systems*, 4th International Conference on Advanced Engineering in Mechanical Systems, 24-25 October, 2013, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: Applied Mathematics and Mechanics, vol IV, nr.56, p. 777-785, Technical University of Cluj-Napoca, ISSN 1221-5872;

- [125] Potîrniche, A., *Comparative modal analysis of a rigid structure with conservative insulation*, The Annals of "Dunărea de Jos" University of Galați, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224 – 5615, 2013 (lucrare acceptată, în curs de publicare);
- [126] Potîrniche, A., *Analiza dinamică a structurilor civile și industriale elastice/rigide la acțiuni armonice și impulsive*, referat pentru doctorat, 08.02.2011, Facultatea de Inginerie Brăila;
- [127] Potîrniche, A., *Modelarea reologică a elementelor din neopren supuse acțiunilor dinamice exterioare*, referat pentru doctorat, 07.06.2011, Facultatea de Inginerie Brăila;
- [128] Potîrniche, A., *Modelarea ansamblului structură-izolator la acțiuni dinamice exterioare*, referat pentru doctorat susținut în cadrul Seminarului Științific SIMSS al Departamentului Științe Inginerești și Management 20.03.2012, Facultatea de Inginerie Brăila;
- [135] Snowdon, J.C., *Vibration and shock in damped mechanical systems*, John Wiley & Sons, New-York, London, Sydney, 1968;
- [141] Trevor, E. Kelly, *Base Isolation of Structures*, Design Guidelines, Holmes Consulting Group Ltd., July 2001;
- [142] Trevor, E. Kelly, *In-Structure Damping and Energy Dissipation*, Design Guidelines, Holmes Consulting Group Ltd., July 2001;
- [143] Trevor, E. Kelly, *Performance Based Evaluation of Buildings*, Nonlinear Pushover and Time History Analysis, Reference Manual, Holmes Consulting Group Ltd., October 2001;
- [146] Ying, Bo Pang, *Seismic Response Analysis of Soil-Structure Interaction on Base Isolation Structure*, Advanced Materials Research, Volume 663, pp. 87-91, 2013;

Cataloage de produse, documentații tehnice

- [1]***, *ROSTA Anti-Vibration Mountings*, Products Catalog;
- [2]***, *Vibration Isolation Systems*, GERB Schwingungsisolierungen GmbH & Co KG, 10 Edition 2000;
- [3]***, *ALGA Sism*, Prospect pentru HDRB și LRB de la firma ALGA;

Standarde, directive, normative, specificații tehnice

- [4]***, *AASHTO Standard Specifications for Seismic Design*, 1991;
- [5]***, *AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design*, 1991;
- [6]***, *Legea 10/1995 privind calitatea în construcții*;
- [7]***, *Uniform Building Code*, International Conference of Building Officials, California USA, 1997;
- [8]***, *Specificație tehnică privind cerințele de calitate și siguranța în funcțiune a echipamentelor vitale din dotarea construcțiilor supuse acțiunilor dinamice aleatoare*, indicativ ST 027-2000, elaborata de Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții ICECON SA, 2000;
- [10]***, *Standard Român SR EN 1337-3*, Aparare de reazem pentru structuri, Partea 3: Aparare de reazem din elastomeri, București Septembrie 2006;
- [11]***, *Procedură de încercare a aparatelor de reazem din elastomeri*, elaborată de Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții ICECON SA, 2009;
- [12]***, *HDRB for base isolation*, Prospect Bridgestone, Technical Report, Product Code:HDR-X0.6R;
- [13]***, http://inforisx.incerc2004.ro/77-86-90_explicatiiBD.htm;

LISTĂ LUCRĂRI PUBLICATE

- [1] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, *The effect of internal dissipation of energy in composite neopren support used for isolating basis under seismic actions*, A 8-a Conferință Internațională Acustică.Vibrații.Acțiuni seismice.Sisteme inteligente de protecție, Reșița, 21-23 octombrie 2009, ISSN 1584-7284;
- [2] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, *Efectul disipării interne a energiei în reazemele din neopren compozit folosite la izolarea bazei sub acțiunea seismică*, Al XV-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, SINUC, București, 17-18 decembrie 2009, ISBN-978-973-100-050-3;
- [3] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., *Nonlinear aspects on rigid structures dynamics with visco-elastic base isolation*, Zilele Academice Timișene, Ediția a XII-a, Simpozionul Acoustics And Vibration Of Mechanical Structures, Academia Română, Filiala Timișoara, 26-27 MAY 2011, Timișoara;
- [4] Bratu, P., **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., *Considerații asupra dinamicii structurilor rigide cu legături vâsco-elastice neliniare*, A X-a Sesiune de comunicări științifice SIMEC 2011 a Catedrei de Mecanică tehnică și Mecanisme, Facultatea de Utilaj Tehnologic, Universitatea Tehnică de Construcții București, 25 martie 2011, București, România;
- [5] Drăgan, N., **Potîrniche, A.**, *The calculus of the equivalent rigidity coefficients for the shafts of the elastical systems*, The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224 – 5615, 2008;
- [6] Drăgan, N., **Potîrniche A.**, *Analiza experimentală a dinamicii podurilor din beton armat supuse acțiunilor din trafic*, SINUC, București, 16–17 decembrie, 2010, ISBN–978–973–100–144–9;
- [7] Leopa, A., **Potîrniche, A.**, *Considerații privind influența comportării neliniare a sistemelor vâscoelastice de rezemare asupra răspunsului dinamic al structurilor*, A X-a Sesiune de comunicări științifice SIMEC 2011 a Catedrei de Mecanică tehnică și Mecanisme, Facultatea de Utilaj Tehnologic, Universitatea Tehnică de Construcții București, 31 martie 2011, ISSN 1842-8045;
- [8] Leopa, A., Năstac, S., Debeleac, C., Căpățână, G., **Potîrniche, A.**, *Identification of parameters characterizing the nonlinear behavior of viscous-elastic systems on dynamic loadings*, The 8th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING ", April 19-21, 2012, Tallinn, Estonia;
- [9] Năstac, S., **Potîrniche, A.**, *Generalized Linear Viscoelastic Model Intended for Rubber Vibro-isolators Analysis*, The 10th International Conference on Acoustics and Vibration, Romanian Acoustic Society, 29-30 September 2011, Petroșani, România;
- [10] Năstac, S., **Potîrniche, A.**, Leopa, A., *Unified Approach of Basic Visco-Elastic Rheological Models*, The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics - SISOM 2012 and Session of the Commission of Acoustics, Romanian Academy, Academy of Technical Sciences, Commission of Acoustics of Romanian Academy, May 30-31, 2012, Bucharest, România;
- [11] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., *Non-linear computational models for dynamics of neoprene vibration isolation elements*, 1st EAA – EuroRegio 2010, Ljubljana, Slovenia, 15-18 septembrie 2010, ISSN 1610-1928;
- [12] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., *On Hysteretic Dynamics of Passive Isolators at Dynamic Actions*, Annual Symposium Of The Institute Of Solid Mechanics - SISOM 2011 And Symposium of Acoustics, Academy Of Technical Sciences, Commission of Acoustics of Romanian Academy, May 26-27, 2011, Bucharest, România;
- [13] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., *Modelarea reologică complexă a dinamicii vibroizolatoarelor pasive elastomerice*, Al XVII-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții - SINUC 2011, București, 15– 16 Decembrie 2011;
- [14] **Potîrniche, A.**, Năstac, S., Leopa, A., Debeleac, C., Căpățână, G., *On unitary rheological approach of vibration isolation passive devices*, The 8th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING ", April 19-21, 2012, Tallinn, Estonia;
- [15] **Potîrniche, A.**, *On evaluation of dynamic isolation for a symmetrical configuration building with antiseismic elastomeric devices*, 10th HSTAM International Congress on Mechanics

Chania, Crete, Greece, 25 – 27 May, 2013;

[16] **Potîrniche, A.**, *Particular Approaches about Symmetrical Structures Dynamics*, Multi-Conference on Systems & Structures (SysStruc '13), "Eftimie Murgu" University of Reșița, 26-28 September 2013, Reșița, România;

[17] **Potîrniche, A.**, *Computational dynamics of elastomeric-based isolation systems for rigid structures*, 5th International Conference "Computational Mechanics and Virtual Engineering" COMEC 2013, 24- 25 October 2013, Brașov, România;

[18] **Potîrniche, A.**, *Aspects on the dynamic isolation for buildings using pendulum systems*, 4th International Conference on Advanced Engineering in Mechanical Systems, 24-25 October, 2013, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: Applied Mathematics and Mechanics, vol IV, nr.56, p. 829-834, Technical University of Cluj-Napoca, ISSN 1221-5872;

[19] **Potîrniche, A.**, Năstac S., *Functional correlations regarding passive isolation of symmetrical systems*, 4th International Conference on Advanced Engineering in Mechanical Systems, 24-25 October, 2013, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: Applied Mathematics and Mechanics, vol IV, nr.56, p. 777-785, Technical University of Cluj-Napoca, ISSN 1221-5872;

[20] **Potîrniche, A.**, *Comparative modal analysis of a rigid structure with conservative insulation*, The Annals of "Dunărea de Jos" University of Galați, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224 – 5615, vol II, 2013 (lucrare acceptată, în curs de publicare);

[21] **Potîrniche, A.**, *Analiza dinamică a structurilor civile și industriale elastice/rigide la acțiuni armonice și impulsive*, referat pentru doctorat, 08.02.2011, Facultatea de Inginerie Brăila;

[22] **Potîrniche, A.**, *Modelarea reologică a elementelor din neopren supuse acțiunilor dinamice exterioare*, referat pentru doctorat, 07.06.2011, Facultatea de Inginerie Brăila;

[23] **Potîrniche, A.**, *Modelarea ansamblului structură-izolator la acțiuni dinamice exterioare*, referat pentru doctorat susținut în cadrul Seminarului Științific SIMSS al Departamentului Științe Inginerești și Management 20.03.2012, Facultatea de Inginerie Brăila.