

UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE
DOMENIUL DE DOCTORAT: INGINERIE CIVILĂ ȘI INSTALAȚII

TEZĂ DE DOCTORAT

„Răspunsul seismic al structurilor în cadre contravântuite echipate cu amortizori cu frecare prin rotație”

- REZUMAT -

Conducător de doctorat:
Prof.univ. dr. ing. Virgil Breabăn

Student doctorand:
ing. Ionuț-Sergiu Oance

Constanța, 2020

Cuvinte cheie: disipare energie, analiză dinamic neliniară, contravântuire, amortizor cu frecare, accelerogramă artificială, răspuns seismic energetic

Cuprins

Capitolul 1. Introducere.....	4
1.1 Contextul tematic al cercetării.....	4
1.2 Obiectivele cercetării	4
1.3 Rezumatul capitolelor	4
2. Capitolul 2. Disiparea energiei în structurile de construcții	5
2.1 Noțiuni generale de dinamica structurilor.....	5
2.1.1 <i>Dinamica sistemelor cu un grad de libertate dinamică</i>	5
2.1.2 <i>Dinamica sistemelor cu un număr finit de grade de libertate dinamică</i>	6
3. Capitolul 3. Sisteme de amortizare seismică a structurilor	6
3.1 Introducere.....	6
Dispozitive dependente de deplasare	6
3.1.1 Dispozitive care folosesc proprietățile de ductilitate ale metalelor.....	6
3.1.2 Dispozitive cu frecare	7
Dispozitive dependente de viteză.....	8
3.1.3 Amortizori vâscoși.....	8
3.1.4 Amortizori magneto-reologici	8
Dispozitive dependente de accelerație	9
3.1.5 Amortizori cu masă acordată.....	9
Dispozitive care modifică acțiunea asupra structurii	9
3.1.6 Izolarea bazei.....	9
3.2 Abordarea energetică. Bilanțul energetic.....	9
3.2.1 Componentele răspunsului seismic energetic al sistemelor cu un grad de libertate....	10
3.2.2 Componentele răspunsului seismic energetic al sistemelor cu număr finit $N > 1$ de grade de libertate	10
4. Capitolul 4. Determinarea experimentală a buclor de histerezis a amortizorilor cu frecare ...	10
4.1 Introducere. Descriere dispozitiv încercare.....	10
4.2 Incercări experimentale pe amortizorul cu frecare prin rotație	11
4.3 Incercări experimentale pe amortizorul cu frecare prin rotație-translație.....	12
4.4 Concluzii	12
5. Capitolul 5. Răspunsul seismic al structurilor echipate cu amortizori cu frecare.....	12
5.1 Noțiuni generale.....	12

5.2	Studiul de caz 1 – Studiul răspunsului seismic al structurilor în cadre metalice prin introducerea amortizorilor cu frecare	13
5.2.1	Descrierea structurilor considerate	13
5.2.2	Analiza dinamic neliniară	14
5.2.3	Concluzii	15
5.3	Studiul de caz 2 – Studiul răspunsului seismic al cadrelor metalice prin variația numărului și a poziției amortizorilor cu frecare în cadrul structurilor.....	16
5.3.1	Descrierea structurilor considerate	16
5.3.2	Analiză comparativă a rezultatelor obținute.....	16
5.3.3	Concluzii	16
5.4	Studiul de caz 3 – Răspunsul seismic al structurilor metalice	16
5.4.1	Descrierea structurilor considerate	16
5.4.1	Analiză comparativă a rezultatelor obținute.....	18
5.4.2	Analiză comparativă a componentelor energetice. Abordarea energetică.....	24
5.4.1	Concluzii	27
6.	Capitolul 6. Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare	28
6.1	Contribuții personale.....	28
6.2	Direcții viitoare de cercetare	29
	Bibliografie	29

Capitolul 1. Introducere

1.1 Contextul tematic al cercetării

Abordarea din proiectarea tradițională de proiectare a structurilor în zone seismice face ca distrugerile materiale în urma unui cutremur major să fie semnificative în special datorată necesității consolidării elementelor structurale cu rol în disiparea energiei seismice (grinzi, pereți) dar mai ales a distrugerilor componentelor nestructurale.

La nivel global în ultimii zeci de ani există un interes crescut pentru dezvoltarea de noi sisteme de protecție seismică, precum și de îmbunătățire a celor existente. În România există diferite proiecte naționale de cercetare, teze de doctorat și chiar brevete de invenție având ca temă diverse sisteme/dispozitive de protecție seismică.

1.2 Obiectivele cercetării

Principalul obiectiv al tezei „**Răspunsul seismic al structurilor în cadre contravântuite echipate cu amortizori cu frecare prin rotație**” îl reprezintă studiul răspunsului seismic al structurilor metalice folosind amortizori cu frecare pentru condițiile seismice din România, din punct de vedere atât al componentelor tradiționale ale răspunsului (deplasări, accelerații, forțe tăietoare de nivel etc.) dar mai ales a componentelor energetice. Prin studiul bilanțului energetic al unei structuri, inginerul poate avea o “privire” mult mai în profunzime referitor la efectele deciziilor de conformare structurală și alegere a sistemului structural, în funcție de regimul de înălțime și de amplasamentul acesteia. Se vor prezenta principalele dispozitive folosite pentru reducerea răspunsului seismic al structurilor, cu avantajele și dezavantajele lor. Îndeplinirea obiectivului principal al tezei a necesitat clarificarea și rezolvarea următoarelor obiective secundare:

- Înțelegerea conceptului de amortizare structurală inerentă și adăugată;
- Studiul componentelor bilanțului energetic pentru cazul structurilor multi-etajate. Această analiză se va concentra asupra efectelor rigidității laterale și a echipării cu amortizori cu frecare asupra bilanțului energetic al structurilor multi-etajate cu diferite regimuri de înălțime;
- Determinarea experimentală a caracteristicilor histeretice ale amortizorilor cu frecare prin rotație;
- Studiul influenței rigidității și al amortizării adăugate asupra energiei de input seismic și a capacității de absorbție energetică pentru structuri metalice cu diferite regimuri de înălțime.

Pentru îndeplinirea acestor obiective a fost necesară parcurgerea unei bibliografii bogate, dintre care 6 sunt lucrări științifice proprii. Pentru încercările experimentale prezentate în capitolul 4 autorul tezei a fost nevoit să proiecteze și să construiască o mașină de încercări universale datorită faptului că adaptarea platanelor Mașinii de testare universală a Facultății de Construcții din Constanța erau mai greu de realizat.

1.3 Rezumatul capitolelor

Teza a fost structurată în șase capitole astfel:

Capitolul 1. „Introducere”- descrie contextul tematic al tezei de doctorat, obiectivele și metodologia cercetării efectuate. Au fost expuse motivele pentru care încadrarea în limitele admise ale deplasărilor relative de nivel nu ar trebui să se reducă doar la apelarea la rigidizare prin secțiuni mari și faptul că un studiu mai aprofundat pentru înțelegerea conceptelor energetice și al amortizării adăugate pot oferi proiectantului noi soluții de conformare structurală. În cadrul acestui capitol au fost expuse obiectivele principale și cele secundare ale cercetării.

Capitolul 2. „Disiparea energiei în structurile de construcții” - prezintă noțiuni de dinamica structurilor. Este analizată dinamica structurilor cu un grad de libertate dinamică, cât și a structurilor cu n grade de libertate dinamică. În cadrul acestui capitol sunt descrise ecuațiile de mișcare ce caracterizează mișcarea structurilor cu sau fără amortizare. Tot în cadrul acestui capitol este analizat răspunsul seismic al unei structuri, pentru patru valori ale amortizării, răspuns în termeni de deplasări cât și în termeni energetici.

Capitolul 3. „Sisteme de amortizare seismică a structurilor” – prezintă principalele dispozitive folosite pentru protecția seismică a structurilor și câteva exemple de aplicare ale acestora. Pentru dispozitivele de amortizare cu frecare este realizată o prezentare mai extinsă, studiul răspunsului seismic al structurilor echipate cu acești amortizori fiind obiectivul principal al acestei teze. Deasemenea în cadrul acestui capitol este prezentată abordarea energetică a proiectării atât pentru structuri cu un grad de libertate dinamică cât și pentru cele cu n grade de libertate dinamică.

Capitolul 4. „Determinarea experimentală a buclelor de histerezis a amortizorilor cu frecare” – prezintă studiile experimentale realizate pentru determinarea curbelor de histerezis pentru doi amortizori cu frecare. Totodată este prezentată mașina de încercări universală proiectată și construită de autorul tezei.

Capitolul 5. „Răspunsul seismic al structurilor echipate cu amortizori cu frecare” – prezintă trei studii de caz ce analizează diferite particularități ale răspunsului seismic al structurilor metalice. Sunt prezentate concluzii pentru fiecare studiu de caz în parte.

Capitolul 6. „Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare” – În cadrul acestui capitol sunt formulate concluziile referitoare la îndeplinirea obiectivelor asumate în primul capitol. Sunt prezentate concluziile studiilor teoretice, ale celor bibliografice cât și ale studiilor de caz realizate de autor. Sunt prezentate contribuțiile personale și importanța acestora pentru domeniul ingineriei structurale cât și direcțiile viitoare de cercetare.

2. Capitolul 2. Disiparea energiei în structurile de construcții

2.1 Noțiuni generale de dinamica structurilor

„Dinamica structurilor are ca obiectiv principal elaborarea unor metode de determinare a eforturilor și deformațiilor în structuri supuse unor acțiuni dinamice. Acțiunea dinamică este o acțiune a cărei mărime, direcție sau punct de aplicare variază în timp. Dinamica structurilor dezvoltă metodele de calcul specifice disciplinei de statica construcțiilor, considerând variația în timp a răspunsului unei structuri ca efect al unei acțiuni dinamice.” (Stratan, 2014)

2.1.1 Dinamica sistemelor cu un grad de libertate dinamică

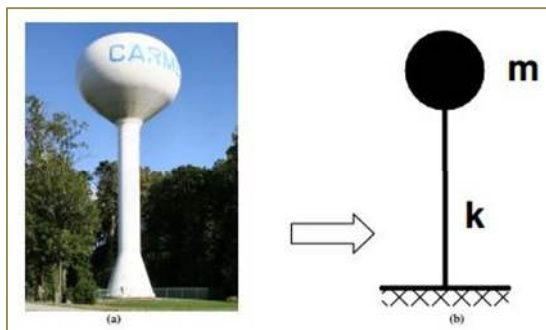


Figura 2.1.1 „Sistem cu un singur grad de libertate dinamică” (Stratan, 2014)

„Numărul de *grade de libertate dinamică (GLD)* necesare într-o analiză dinamică a unei structuri este numărul de deplasări independente necesare pentru definirea poziției deplasate a maselor față de poziția lor inițială.” (Stratan, 2014)

2.1.2 Dinamica sistemelor cu un număr finit de grade de libertate dinamică

„Răspunsul dinamic al unui sistem cu mai multe grade de libertate dinamică (MGLD) acționat de forțe dinamice este alcătuit din deplasările $u_j(t)$, vitezele $\dot{u}_j(t)$ și accelerațiile $\ddot{u}_j(t)$, $j=1 \dots N$. Forțele dinamice $\{p(t)\}$ pot fi considerate distribuite la componenta de rigiditate $\{f_s(t)\}$, componenta de amortizare $\{f_D(t)\}$ și componenta de masă $\{f_I(t)\}$:

$$\{f_I(t)\} + \{f_D(t)\} + \{f_s(t)\} = \{p(t)\} \quad (2.1.2)$$

Sau, sub formă matricială obținem:

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{p(t)\} \quad (2.1.3)$$

ceea ce reprezintă un sistem de N ecuații diferențiale, a cărui rezolvare duce la determinarea deplasărilor $\{u(t)\}$ generate de acțiunea dinamică $\{p(t)\}$. ” (Chopra, 2001) (Stratan, 2014)

3. Capitolul 3. Sisteme de amortizare seismică a structurilor

3.1 Introducere

„În ultimii 20-30 de ani tot mai multe clădiri sunt echipate cu dispozitive speciale cu rolul de a disipa energia indusă în structură în timpul unor evenimente seismice. Dispozitivele de protecție seismică sunt introduse pentru a îmbunătăți răspunsul structurii din punct de vedere al ductilității sau pentru a prelua cea mai mare parte a energiei seismice.

O clasificare posibilă a dispozitivelor de amortizare seismică este prezentată în tabelul 3.1.1” (Ghindea, 2008):

Tabelul 3.1.1 „Clasificarea dispozitivelor de amortizare seismică” (Ghindea, 2008)

Dispozitive dependente de deplasare	Dispozitive liniare (LD)	
	Dispozitive neliniare (NLD)/ Histeretice (YD)	Dispozitive cu metale ductile (YMD)
		Dispozitive cu frecare (FD)
Dispozitive dependente de viteză/ amortizori vâscoși (VD)	Dispozitive cu fluid vâscos (FVD)	
	Dispozitive cu resort și fluid (FSD)	
Dispozitive dependente de accelerații (TMD)		
Dispozitive modificatoare de input (Izolarea bazei)		
Combinații ale variantelor de mai sus		

Dispozitive dependente de deplasare

3.1.1 Dispozitive care folosesc proprietățile de ductilitate ale metalelor

„Deformarea în domeniul inelastic al materialelor ductile reprezintă un mecanism stabil de disipare a energiei seismice. În proiectarea tradițională disiparea energiei seismice se bazează pe ductilitatea elementelor componente ale structurii. Pornind de la acest concept s-a ajuns la ideea

instalării unor elemente separate de structură (dispozitive) care să absoarbă energia seismică. În anii 1970 au fost concepute și testate astfel de dispozitive. ” (Cheng, 2008).



Figura 3.1.1 „Clădire echipată cu amortizor tip ADAS” (Cheng, 2008)

3.1.2 Dispozitive cu frecare

Frecarea reprezintă un mecanism eficient, de încredere, aplicabil pe scară largă și economic, pentru disiparea energiei cinetice prin conversia ei în căldură. La începutul anilor 80 Pall și Marsh (Pall, 1979) dezvoltă un amortizor cu frecare pentru a îmbunătăți răspunsul seismic al structurilor.

Legătura cu alunecare limitată (Limited slip bolted joint- LSB)

Legătura cu alunecare limitată dezvoltată de Pall și Marsh (Pall, 1979) la începutul anilor 80 a fost inițial folosită pentru îmbunătățirea răspunsul seismic al structurilor din panouri mari.

Amortizor cu frecare de tip Pall

Amortizorul cu frecare de tip Pall este realizat dintr-un set de platbande perforate îmbinate între ele cu ajutorul unor șuruburi de înaltă rezistență (fig. 3.1.2.a). Oțelul din care sunt realizate platbandele este tratat special pentru o îmbunătățire a frecării. Acest amortizor cu frecare se introduce la intersecția diagonalelor în X (fig. 3.1.2.b).



a)

b)

Figura 3.1.2 „Amortizor cu frecare de tip Pall

a) în laborator, b) instalat” (Pall, 2006)

Amortizor cu frecare de tip Sumitomo

Acest amortizor este proiectat și produs de Sumitomo Metal Industries Ltd., Japan. La acest tip de amortizor forța de frecare este generată de tampoanele din aliaj de cupru cu grafit ce alunecă pe suprafața interioară a unui tub metalic.

Legătura disipatoare de energie (Energy dissipating restraint- EDR)

„Legătura disipatoare de energie face parte din categoria amortizorilor cu frecare. În cadrul acestor amortizori forța de frecare crește liniar cu deformația acestora. Acest tip de amortizor a fost brevetat de Fluor Daniel, Inc. ” (Innaudi, 1996).

Amortizor cu frecare prin rotație tip Damptech

„Acest amortizor cu frecare este format din 3 sau mai multe plăci din oțel care se rotesc una față de cealaltă, între aceste plăci sunt amplasate discuri abrazive. Principalele componente ale amortizorului sunt: placa centrală și două sau mai multe plăci laterale așa cum este prezentat în Figura 3.1.3. Placa centrală conectează dispozitivul de amortizare de grinda structurii tip cadru cu ajutorul unei îmbinări ce se poate roti pentru a nu introduce moment în grindă ” (Muala, 2001).

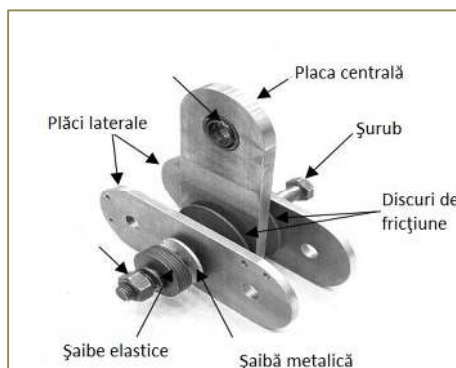


Figura 3.1.3 „Detalii ale amortizorului cu frecare tip Damptech” (Muala, 2000)

Amortizor cu frecare de tip SERB

„Dispozitivul de amortizare tip SERB a fost inventat în România în anul 2005 de V.Șerban (Șerban, 2005) și este un amortizor cu întărire de rigiditate a cărui comportare se împarte în două zone distincte.” (Vacărescu et. al., 2013).

Dispozitive dependente de viteză

3.1.3 Amortizori vâscoși

„Acești amortizori constituie, datorită performanțelor ridicate, una dintre cele mai moderne metode de protecție seismică. Acești amortizori nu necesită întreținere, nefiind necesare rezervoare de ulei, conducte de presiune, indicatoare de nivel, acumulatori exteriori. Fluidul intern nu se înlocuiește pe perioada de serviciu. ” (Ionescu, 2017)

3.1.4 Amortizori magneto-reologici

Acest tip de amortizor este un dispozitiv semiactiv ce are caracteristici superioare față de amortizorul cu fluid vâscos.

Dispozitive dependente de accelerație

3.1.5 Amortizori cu masă acordată

„În forma lor simplă amortizorii cu masă acordată (TMD – Tuned Mass Damper) constau într-un sistem format dintr-o masă (m_d), un resort (k_d) și un amortizor (c_d), sistem ancorat sau atașat de structura principală a clădirii, de obicei în partea cea mai de sus a acesteia” (Cheng et al., 2008).

Dispozitive care modifică acțiunea asupra structurii

3.1.6 Izolarea bazei

„Aceste dispozitive pasive de izolare a bazei reprezintă o soluție a abordării controlului pasiv asupra răspunsului seismic. Astfel, soluția de izolare a bazei reprezintă soluția de control structural prin amplasarea unor dispozitive speciale ce permit decuplarea suprastructurii construcțiilor de infrastructura acestora”. (Ghindea, 2008).

3.2 Abordarea energetică. Bilanțul energetic

Obiectivul principal al acestui subcapitol este prezentarea conceptului de capacitate de absorbție energetică pentru structurile supuse acțiunii seismice.

Housner (Housner, 1956) propune asigurarea structurilor cu o capacitate suficientă de absorbția energiei seismice introduse în structură. Această propunere a dus la dezvoltarea prin calcul a cantităților de energie seismică indusă de un cutremur și a cantităților componentelor energetice. Astfel, a fost introdusă ecuația de bilanț energetic:

$$E_i = E_K + E_{S,e} + E_D + E_{S,h} + E_{AD} \quad (3.2.1)$$

Bilanțul energetic

Fiecare structură are o capacitate proprie de disiparea energiei seismice de input. Multe din prevederile de dimensionare structurală au ca obiectiv asigurarea unei capacități cât mai mari de absorbție energetică și au rolul de a dirija posibilitatea formării unor zone plastice la capetele grinzilor.

Housner (Housner, 1956) propune asigurarea structurilor cu o capacitate suficientă de absorbția energiei seismice introduse în structură. Această abordare s-a dezvoltat prin calculul cantităților de energie seismică indusă de un cutremur și a cantităților componentelor energetice. Astfel, a fost introdusă ideea de bilanț energetic împreună cu ecuațiile aferente.

Energia de input, indusă de cutremur, în cazul structurilor proiectate în domeniul elastic se distribuie astfel:

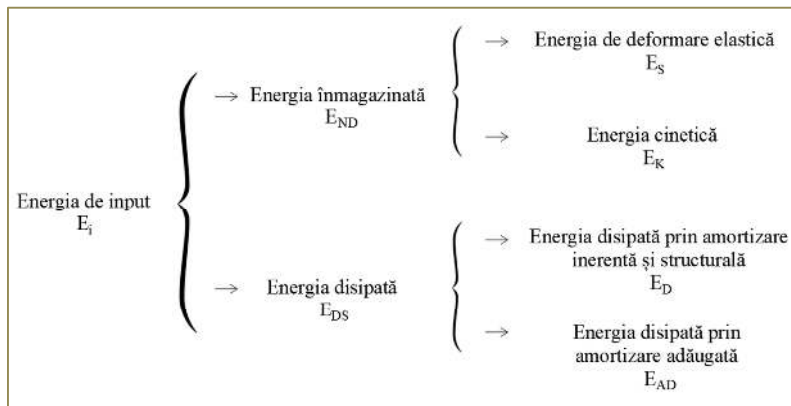


Figura 3.2.1 Distribuția energiei în structură

3.2.1 Componentele răspunsului seismic energetic al sistemelor cu un grad de libertate

Răspunsul energetic al unui sistem cu un număr finit de grade de libertate poate fi extras din răspunsul unei structuri echivalente cu un grad de libertate.

3.2.2 Componentele răspunsului seismic energetic al sistemelor cu număr finit $N > 1$ de grade de libertate

În acest caz, pentru simplificarea calculului, modelul structural multietajat se echivalează cu sisteme cu mai multe grade de libertate dinamică, numărul fiind finit, $n > 1$.

În cazul energiei de input absolute, aceasta este compusă din energie cinetică, de deformare elastică, capacitatea de absorbție energetică și energia disipată de dispozitivele de control ale vibrațiilor.

4. Capitolul 4. Determinarea experimentală a buclelor de histerezis a amorizorilor cu frecare

4.1 Introducere. Descriere dispozitiv încercare

Această Mașină de testat propusă și construită de autorul tezei (Oance, 2019) poate fi folosită ca un instrument universal pentru testarea rezistenței la întindere și compresiune a diferitelor

Pentru determinarea comportării dispozitivelor încercate la acest aparat este necesară fixarea acestora în cele două puncte de fixare prevăzute cu găuri pentru prinderea cu șuruburi.

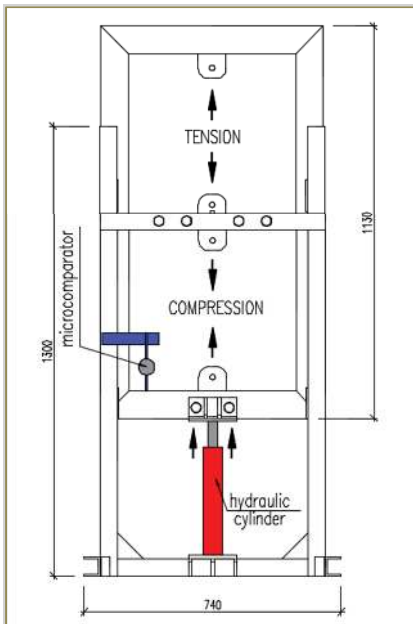


Figura 4.1.1 Mașină de testare – vedere din față



Figura 4.1.2 Mașina de testare universală

Ansamblul rezultat a fost echipat cu pompa hidraulică manuală, cilindru hidraulic, manometru și microcomparator electronic (Figura 4.1.2).

4.2 Încercări experimentale pe amortizorul cu frecare prin rotație

Încercarea experimentală pe un amortizor cu frecare prin rotație după modelul Damptech construit de autorul tezei a fost realizată cu ajutorul Mașinii de testare universală prezentată anterior la punctul 4.1.

Elementele componente ale amortizorului sunt: platbande metalice, șaibe metalice, șaibe din materiale cu coeficient de frecare mare și șuruburi pretensionate. Dimensiunea elementelor componente, caracteristicile acestora și valoarea la care sunt pretensionate șuruburile determină forma și dimensiunile buclei de histerezis.



Figura 4.2.1 Elemente componente ale amortizorului cu frecare prin rotație

Am realizat o serie de încercări la întindere, cu forțe de până la 25kN. Figura 4.2.2 prezintă bucla de histerezis idealizată pentru amortizorul cu frecare prin rotație încercat.

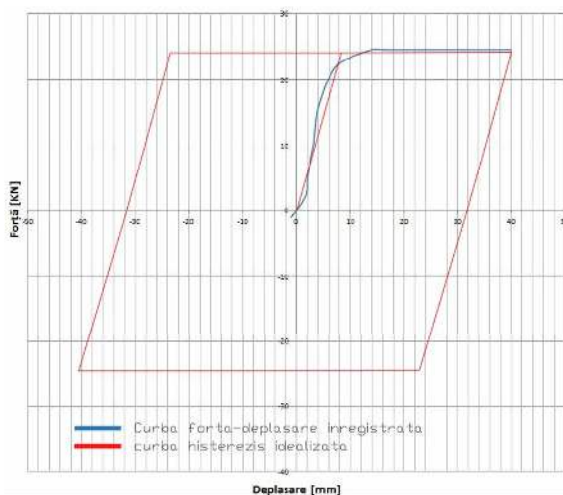


Figura 4.2.2 Bucla de histerezis a amortizorului cu frecare prin rotație

Analizând curba forță-deplasare obținută experimental se observă că acesta are formă asemănătoare celor obținute în cadrul studiilor experimentale realizate de inventator. (Muala, 2010). În urma încercării experimentale se pot concluziona următoarele:

- Forța aplicată asupra amortizorului crește liniar până la valoarea maximă, valoare de la care deplasarea crește fără a înregistra o creștere a forței (se obține un palier);
- Curba de histeresis obținută poate fi asociată unei comportări rigid-perfect plastice, comportare ușor de modelat în softurile de analiză structurală;

4.3 Încercări experimentale pe amortizorul cu frecare prin rotație-translație

Încercarea experimentală pe un amortizor cu frecare prin rotație-translație după modelul propus și construit de autorul tezei a fost realizată cu ajutorul Mașinii de testare universală prezentată anterior la punctul 4.1. Pentru această testare experimentală a fost necesară măsurarea deplasării între punctele de prindere ale amortizorului, deplasare ce variază funcție de forță aplicată.

4.4 Concluzii

Studiul experimental realizat a necesitat proiectarea și construirea de către autorul tezei a unei mașini de testat universale, mașină ce poate fi folosită pentru viitoare încercări. Scopul încercărilor experimentale a fost validarea comportării amortizorilor cu frecare. Comportarea celor doi amortizori cu frecare studiați experimental este dependentă de coeficientul de frecare a suprafețelor aflate în contact direct și implicit de valoarea de pretensionare a șuruburilor ce solidarizează elementele componente ale amortizorului.

5. Capitolul 5. Răspunsul seismic al structurilor echipate cu amortizori cu frecare

5.1 Noțiuni generale

„Metoda de proiectare presupune ca unele componente ale sistemului structural să fie proiectate și detaliate pentru a permite disiparea energiei seismice prin deformări inelastice, în timp ce toate celelalte elemente structurale să posede suficientă capacitate de rezistență pentru a nu depăși limitele elastice și pentru a permite dezvoltarea mecanismului de disipare de energie ales” (Paulay, 1997) (Figura 5.1.1).

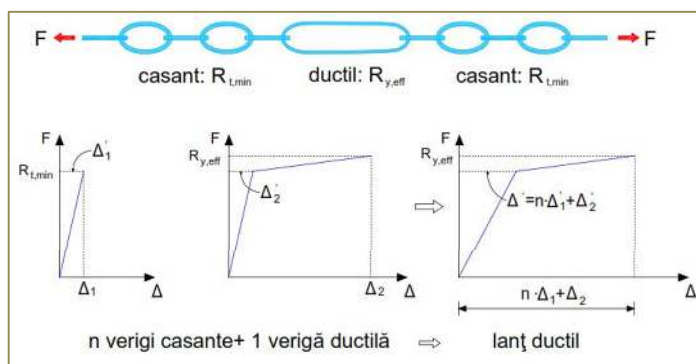


Figura 5.1.1 Principiul limitării eforturilor cu ajutorul elementelor ductile

Colapsul structurii fiind evitat prin proiectare, problema se concentrează doar asupra necesității realizării reparațiilor și a consolidării după fiecare cutremur de intensitate mare.

5.2 Studiul de caz 1 – Studiul răspunsului seismic al structurilor în cadre metalice prin introducerea amortizorilor cu frecare

5.2.1 Descrierea structurilor considerate

În acest prim studiu de caz se vor analiza avantajele ce decurg din utilizarea sistemului de contravântuire prevăzut cu amortizori cu frecare tip Damptech față de structurile metalice clasice necontravântuite, contravântuite centric și contravântuite excentric.

Inițial s-a considerat o structură metalică necontravântuită (SMNC) cu următoarele caracteristici geometrice: 5 deschideri de 6m și 6 niveluri, parterul are înălțimea de 4.5m iar restul nivelurilor au înălțimea de 3.5m (Figura 5.2.1). Clădirea va fi amplasată în Municipiul București, iar destinația este bloc de locuințe. Toate elementele structurale sunt din oțel S355 cu rezistența la curgere $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$. Cadrele metalice necontravântuite au o ductilitate foarte bună însă cu greu se pot îndeplini condițiile de rigiditate impuse de codul de proiectare seismică P100-1/2013.

Următoarele două structuri analizate au rezultat transformând primul sistem structural într-o structură duală formată din cadre metalice necontravântuite și cadre metalice contravântuite centric (SMCC) (Figura 5.2.2). și, respectiv structură duală formată din cadre metalice necontravântuite și cadre metalice contravântuite excentric (SMCE) (Figura 5.2.3). Ultima structură analizată este o structură duală formată din cadre necontravântuite și cadre contravântuite echipate cu amortizori cu frecare (Figura 5.2.4) în două variante: cu amortizori a căror valoare de curgere este 50KN, respectiv 150KN. Un astfel de amortizor este prezentat în Figura 5.2.5.



Figura 5.2.1 Structură necontravântuită (SMNC)

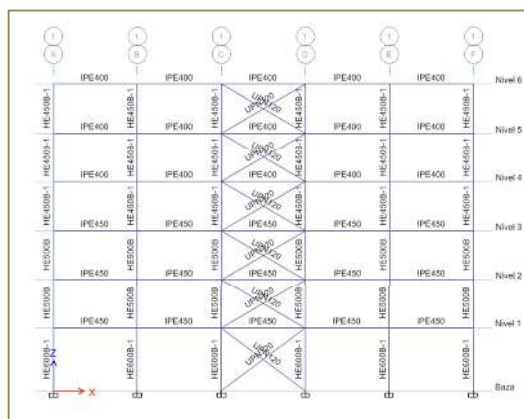


Figura 5.2.2 Structură contravântuită centric (SMCC)



Figura 5.2.3 Structură metalică contravântuită excentric (SMCE)



Figura 5.2.4 Structură metalică echipată cu amortizori cu frecare (SMCA)



Figura 5.2.5 Amortizor cu frecare prin rotație
(<https://www.damptech.com/for-buildings-check>)

Pentru evaluarea răspunsului acestor patru structuri s-a realizat un calcul dinamic neliniar de tip time-history. Acest tip de analiză are avantajul că poate prezenta răspunsul structurii de-a lungul acțiunii seismice (răspuns în timp). Amortizorii cu frecare au fost modelați conform curbei caracteristice de comportare (Figura 5.2.6).

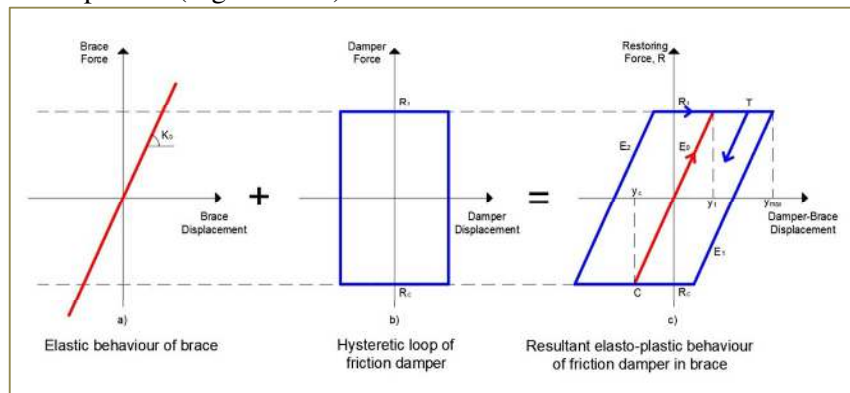


Figura 5.2.6 Curba elasto-plastică a diagonalei echipate cu amortizor cu frecare (Oance, 2019)

5.2.2 Analiza dinamic neliniară

În cadrul analizei dinamic neliniare, articulațiile plastice din grinzi definite au fost de tip moment-rotire. Pentru stâlpi au fost definite articulații plastice de tip P-M (interacțiune efort axial - moment încovoietor) ductil. Pentru stâlpi și grinzi, aceste articulații plastice au fost atribuite capetelor de bară, în cazul contravântuirilor, deformațiile plastice de tip P (efort axial) au fost atribuite mijlocului barei. Rotirile plastice ultime sunt definite în conformitate cu FEMA 273 și ASCE 41-17.

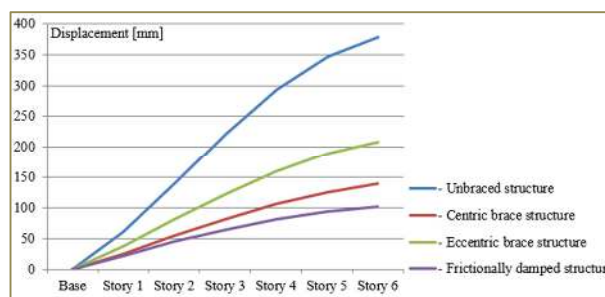


Figure 5.2.7 Deplasări maxime la vârful structurii

Deplasarea maximă la vârf a structurii echipată cu amortizori cu frecare (SMCA) este de 3.75 ori mai mică decât deplasarea maximă a structurii necontravântuite (SMNC) (Figura 5.2.7).

Ca urmare a analizelor efectuate se poate observa că răspunsul structurii echipate cu amortizori cu frecare prezintă o îmbunătățire semnificativă față de celelalte structuri analizate (răspuns în termeni de deplasare maximă la vârf, deplasare relativă de nivel și accelerații la vârf).

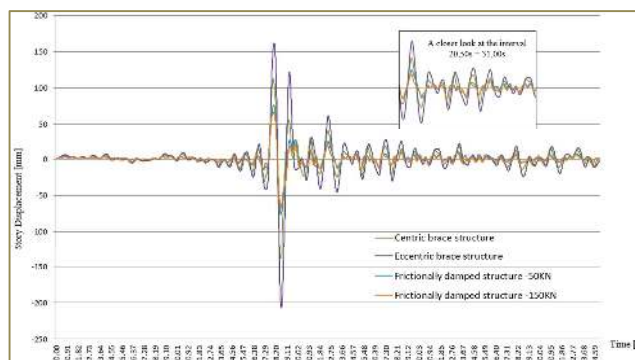


Figura 5.2.8 Deplasări absolute la vârf a structurii (accelerograma Vrancea 1977 N-S INCERC)

Pe durata acțiunii seismice (Vrancea 1977 N-S INCERC), amortizorul cu capacitate de 50KN de la primul nivel curge de mai multe ori pe durata acțiunii seismice în comparație cu amortizorul cu capacitate de 150KN al celeilalte structuri (Figura 5.2.9 și Figura 5.2.10).

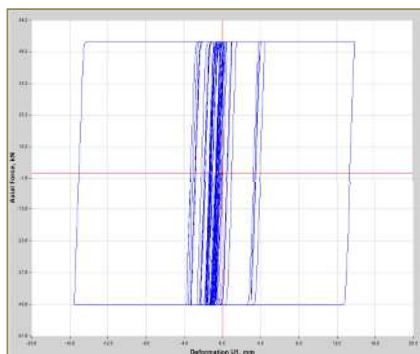


Figura 5.2.9 Curba histeretică a amortizorului de la primul nivel, cu capacitate 50 KN

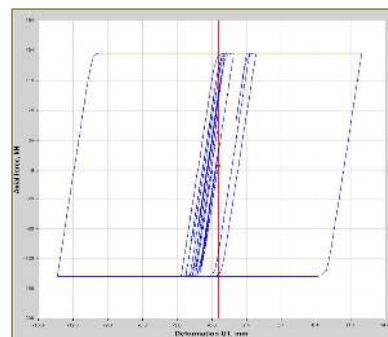


Figure 5.2.10 Curba histeretică a amortizorului de la primul nivel, cu capacitate 150 KN

5.2.3 Concluzii

În cadrul studiului de caz au fost realizate o serie de analize dinamice neliniare asupra a patru tipuri de structuri. În urma acestor analize s-a evidențiat îmbunătățirea răspunsului seismic al structurilor prin echiparea cu amortizori cu frecare.

În urma analizelor a rezultat că structura echipată cu amortizori cu capacitate de 150 KN prezintă valori ale accelerațiilor la ultimul nivel mai mari față de structura a căror amortizori au capacitatea de 50 KN. Totodată, amortizorii cu capacitate de curgere mai mică vor curge de mai multe ori în timpul evenimentului seismic decât amortizorii cu capacitate mai mare.

Dată fiind relativa independență față de condițiile de mediu a amortizorilor cu frecare, aceștia reprezintă o alternativă viabilă pentru mărirea capacității de disipare a energiei structurilor.

5.3 Studiul de caz 2 – Studiul răspunsului seismic al cadrelor metalice prin variația numărului și a poziției amortizorilor cu frecare în cadrul structurilor

5.3.1 Descrierea structurilor considerate

În cadrul celui de-al doilea studiu de caz s-au analizat efectele numărului și poziției amortizorilor cu frecare în cadrul a patru configurații de structuri. Aceste patru structuri cu câte șase niveluri au fost supuse unei analize dinamice neliniare, fiecare în parte, pe baza accelerogramei Vrancea 1977 N-S, INCERC, scalată pentru condițiile amplasamentului București, pentru valoarea de vârf a accelerației terenului $a_g=0.30g$.

5.3.2 Analiză comparativă a rezultatelor obținute

În figura 5.3.1 se poate observa că deplasarea maximă la vârf a structurii 1 are valoarea cea mai mare, pe când în cazul structurii 4 valoarea acesteia este cea mai mică. Deplasările absolute maxime la vârf în cazul structurii 2 și 3 sunt apropiate în jurul valorii de 60mm.

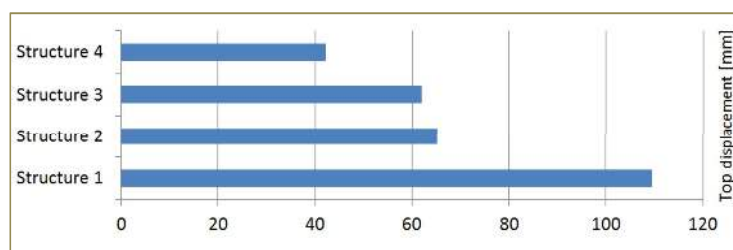


Figura 5.3.1 Deplasări absolute maxime la vârful structurii

În cazul forței seismice de bază maxime se poate observa că valoarea cea mai mare este înregistrată deasemenea în cazul structurii 1, structurile 2, 3 și 4 înregistrând valori apropiate de aproximativ 3400 KN.

5.3.3 Concluzii

În cadrul studiului de caz au fost realizate o serie de analize dinamice neliniare asupra a patru tipuri de structuri echipate cu un număr diferit de amortizori cu frecare și poziție diferită în cadrul nivelului. În urma acestor analize s-a evidențiat faptul că răspunsului seismic al structurilor este dependent de poziționarea amortizorilor cu frecare.

Structura cu numărul cel mai mare de amortizori (Structura 4) pe fiecare nivel are răspunsul cel mai favorabil din punct de vedere al deplasărilor absolute maxime la vârful structurii însă structura 3 este optimă din punct de vedere al energiei disipate. Acest aspect indică că un număr mare de amortizori plasați în structură nu este întotdeauna cea mai bună soluție în termeni de energie disipată.

5.4 Studiul de caz 3 – Răspunsul seismic al structurilor metalice

5.4.1 Descrierea structurilor considerate

În cadrul acestui studiu de caz sunt realizate seturi de analize pentru compararea răspunsului seismic al structurilor rigidizate prin secțiuni mari (Fig. 5.4.1) cu cel al structurilor contravântuite centric (Fig. 5.4.2) și al structurilor echipate cu amortizori cu frecare cu capacitatea de 50KN respectiv 100 KN (Fig. 5.4.3).

Structurile analizate au următoarele caracteristici geometrice: 5 deschideri de 6m, parterul are înălțimea de 4.5m iar restul nivelurilor au înălțimea de 3.5m.

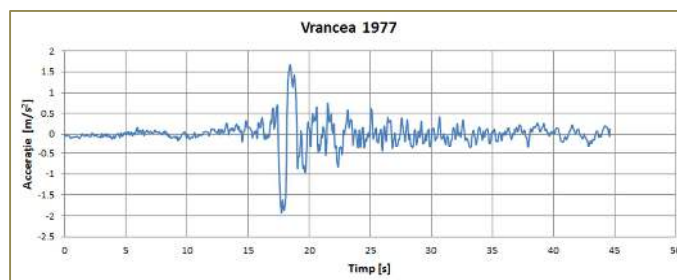


Figura 5.4.4 Accelerograma Vrancea 4 Martie 1977

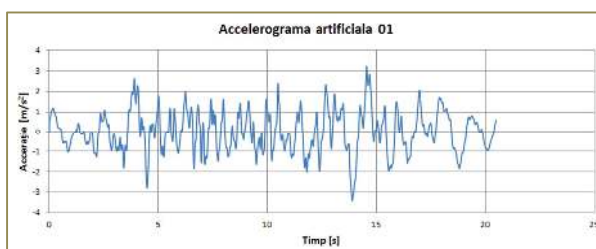


Figura 5.4.5 Accelerograma artificială – acc.artif. 01

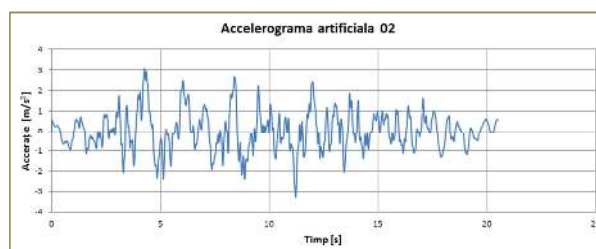


Figura 5.4.6 Accelerograma artificială – acc.artif. 02

5.4.2 Analiză comparativă a rezultatelor obținute

Un parametru important care relevă răspunsul seismic al structurilor îl reprezintă deplasările relative de nivel. Procentul deplasărilor relative de nivel fiind criteriul principal ce trebuie îndeplinit în proiectarea seismică a structurilor. Deplasările relative de nivel ale celor 4 structuri cu 6 niveluri supuse celor 3 accelerograme pentru prezentate în Figura 5.4.7.

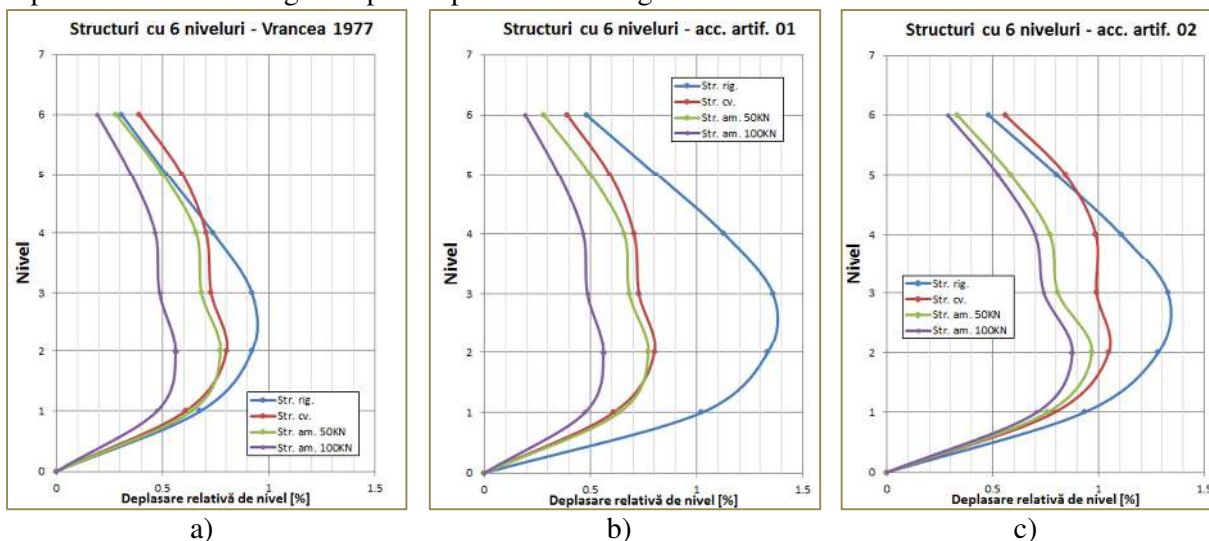
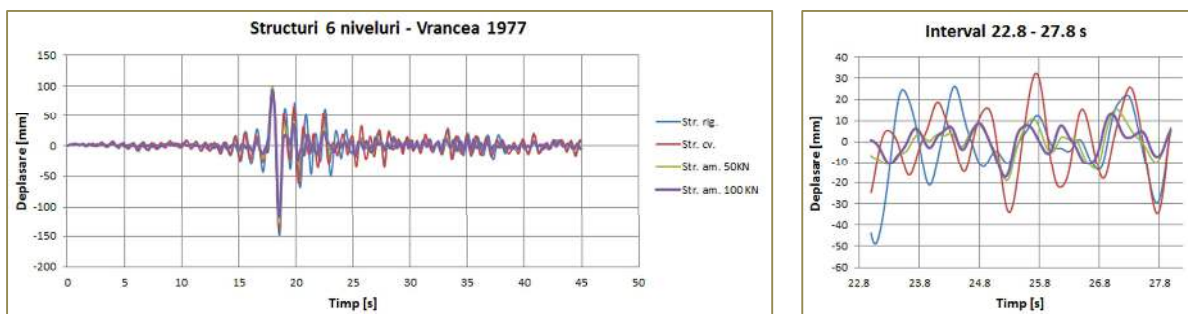


Figura 5.4.7 Deplasări relative de nivel – structuri cu 6 niveluri pentru accelerogramele: a) Vrancea 1977, b) Artificială 01, c) Artificială 02

Se poate observă că rigidizarea adusă de contravântuiri dar și echiparea structurilor cu amortizare adăugată conduce la reducerea deplasărilor de nivel pentru cele 3 accelerograme (fig. 5.4.7). Reducerea cea mai mare în ceea ce privește deplasarea relativă de nivel se constată între structura în cadre (str. rig.) și structura contravântuită.

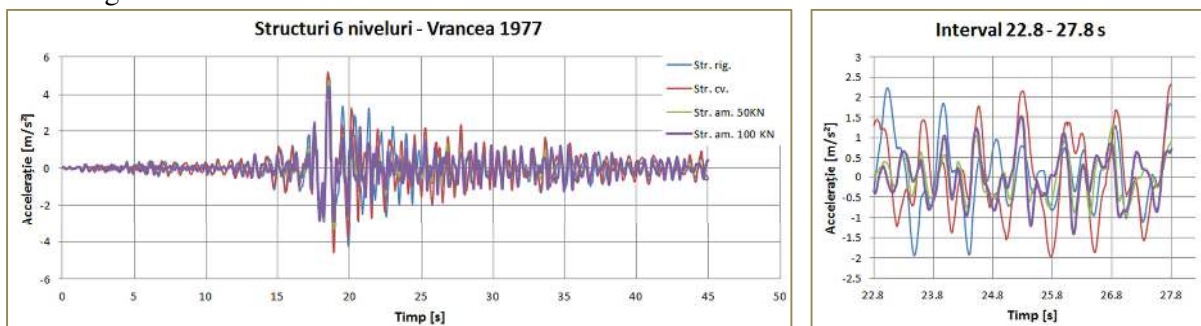


a)

Figura 5.4.8 Variația deplasărilor maxime la vârf – structuri cu 6 niveluri pentru acceleograma Vrancea 1977

În figura 5.4.8 este prezentată variația deplasărilor maxime la vârf în cazul celor 4 structuri cu șase niveluri, pentru cele trei acceleroگرامe. Pentru structurile prevazute cu amortizori cu frecare cu capacitate de 50 KN și 100 KN (str. am. 50KN și str. am. 100KN) se constată o defazare a deplasărilor maxime față de structura în cadre și structura contravântuită centric.

Accele-rațiile laterale de nivel sunt un indiciu relevant în studiul răspunsului seismic al structurilor amplasate în regiuni cu seismicitate ridicată. În figura 5.4.9 sunt prezentate variațiile accelerației laterale de la ultimul nivel al celor patru structuri analizate prin aplicarea accelero-gramei Vrancea 1977.



a)

Figura 5.4.9 Variația accelerației laterale la ultimul nivel – structuri cu 6 niveluri pentru accelero-gramă Vrancea 1977

Răspunsul în timp pentru structurile acționate seismic în cazul celor trei accelero-grame sunt prezentate în două imagini alăturate, prima dintre ele reprezentând variația accelerației la ultimul nivel pe întreaga durată a accelero-gramei, iar a doua prezintă un interval de cinci secunde.

Pentru accelero-gramă Vrancea 1977, valoarea maximă a accelerației laterale la ultimul nivel se înregistrează de către structura contravântuită centric (str.cv) și este de 5.20 m/s^2 , iar valoarea minimă este înregistrată în cazul structurii cu amortizori cu capacitate de 100 KN (str. am. 100KN) și este de 4.41 m/s^2 . Se constată practic o reducere de până la 15.20% a valorii accelerației maxime la ultimul nivel.

În urma studiului asupra răspunsului în termeni de accelerații maxime la ultimul nivel se constată o variabilitate destul de mare pentru cele trei accelero-grame.Reducerea răspunsului seismic aflandu-se în intervalul de 15.20%-40.80%.

Variația forței seismice maxime de bază în paralel cu valoarea maximă a deplasării maxime de nivel este prezentată în Figura 5.4.10.

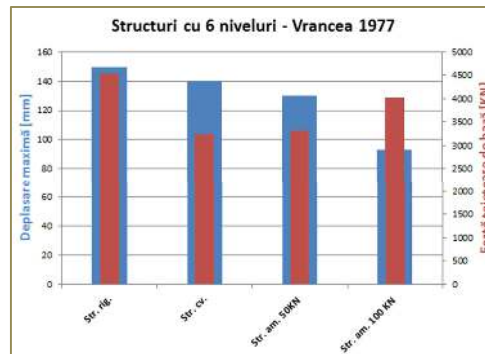


Figura 5.4.10 Variația forței tăietoare seismice de bază maxime în funcție de rigiditatea laterală – Vrancea 1977

În cazul structurilor acționate de cutremurul Vrancea 1977 se constată că forța seismică de bază cu valoarea cea mai mare se înregistrează în cazul structurii în cadre. Structura dotată cu amortizori cu frecare de 100KN (str. am. 100KN) deși înregistrează cea mai mică deplasare la vârf, “beneficiază” de o forță tăietoare de bază cu 19.55% mai mare față de structura contravântuită și cu 17.49% mai mare față de structura prevăzută cu amortizori de 50KN (str. am. 50KN) (Fig.5.4.10).

Studiul rigidității structurilor în paralel cu valoarea maximă a forței seismice de bază maxime pentru structurile cu 6 niveluri analizate ne demonstrează că nu există o corelație directă între acești doi parametri importanți abordați în proiectarea clasică a structurilor.

Deplasările relative de nivel ale celor 4 structuri cu 8 niveluri supuse celor 3 accelerograme pentru prezentate în Figura 5.4.11.

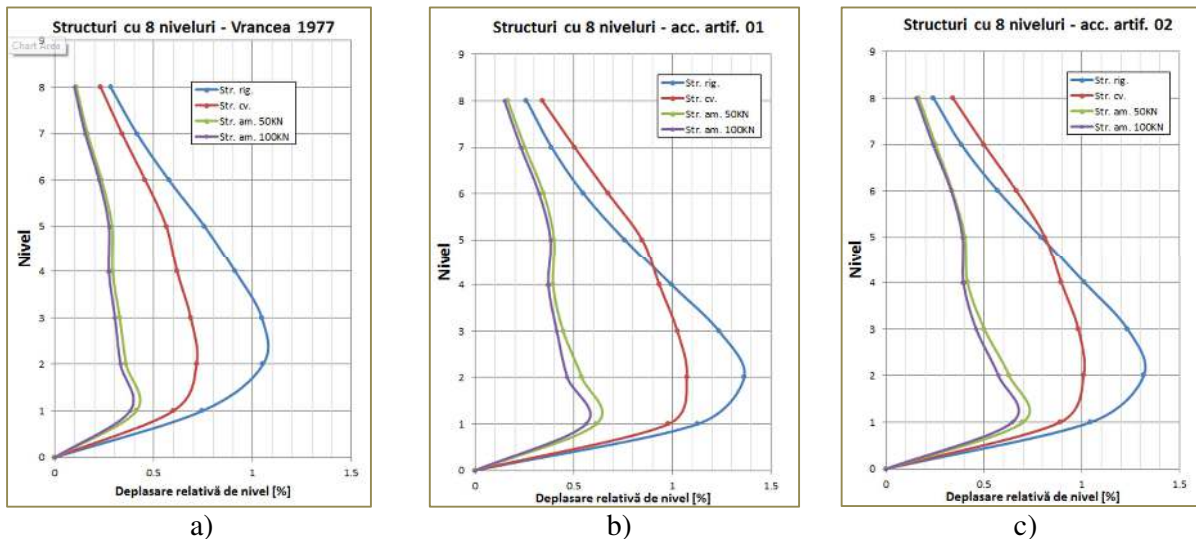


Figura 5.4.11 Deplasări relative de nivel – structuri cu 8 niveluri pentru accelerogramele: a) Vrancea 1977, b) Artificială 01, c) Artificială 02

Se poate observă că rigidizarea adusă de contravântuiri dar și echiparea structurilor cu amortizare adăugată conduce la reducerea deplasărilor de nivel pentru cele 3 accelerograme (Fig. 5.4.11). În acest caz reducerea cea mai mare în ceea ce privește deplasarea relativă de nivel se constată între structura contravântuită (str. cv.) și structura echipată cu amortizori cu capacitatea de 50 KN.

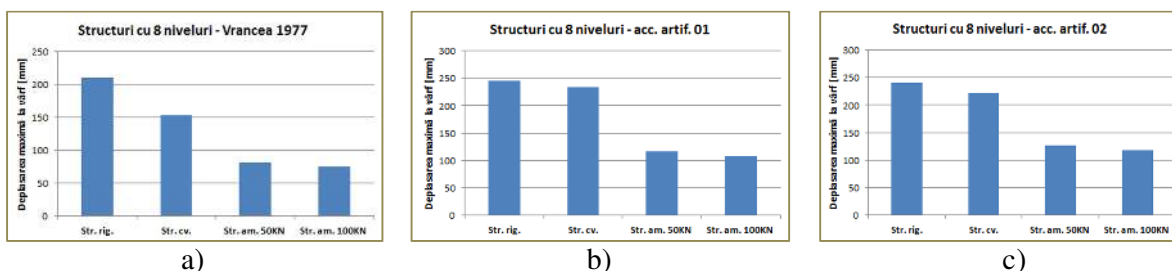


Figura 5.4.12 Deplasări maxime la vârf – structuri cu 8 niveluri pentru accelerogramele: a) Vrancea 1977, b) Artificială 01, c) Artificială 02

Deplasarea maximă la vârf pentru cele trei accelerograme (Fig. 5.4.18) se produce în cazul structurii în cadre. Valoarea minimă a acestui parametru se înregistrează în cadrul structurii prevăzute cu amortizori cu capacitatea de 100 kN (Str. am 100kN), cu până la 56.28% față de structura în cadre (str. rig.) pentru accelerograma artificială 01.

În figura 5.4.13 sunt prezentate variațiile accelerației laterale de la ultimul nivel al celor patru structuri cu opt niveluri analizate prin aplicarea accelerogramei Vrancea 1977.

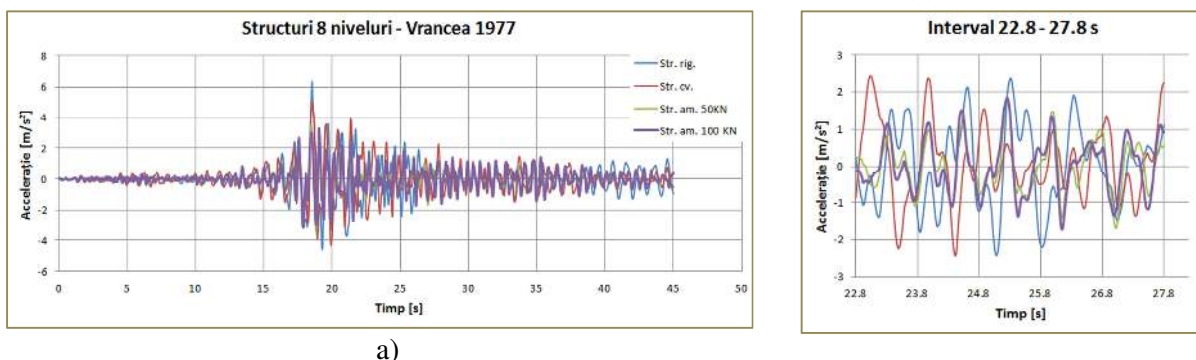


Figura 5.4.13 Variația accelerației laterale la ultimul nivel – structuri cu 8 niveluri pentru accelerograma Vrancea 1977

Răspunsul în timp pentru structurile cu opt niveluri acționate seismic în cazul celor trei accelerograme sunt prezentate în două imagini alăturate, prima dintre ele reprezentând variația accelerației la ultimul nivel pe întreaga durată a accelerogramei, iar a doua prezintă un interval de cinci secunde.

În urma studiului asupra răspunsului în termeni de accelerații maxime la ultimul nivel pentru structurile cu opt niveluri se constată o variabilitate destul de mare pentru cele trei accelerograme. Reducerea răspunsului seismic aflându-se în intervalul de 19.68%-48.34%.

Variația forței seismice maxime de bază în paralel cu valoarea maximă a deplasării maxime de nivel este prezentată în Figura 5.2.14.

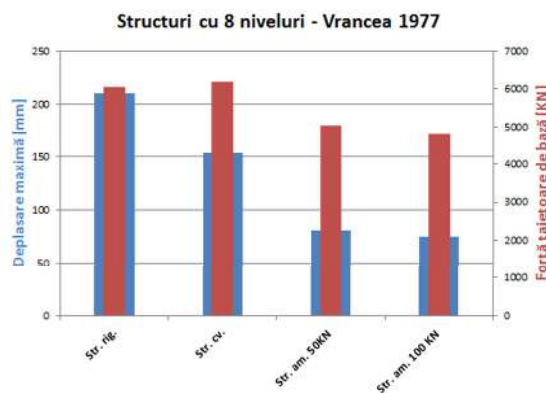


Figura 5.4.14 Variația forței tăietoare seismice de bază maxime în funcție de rigiditatea laterală – structuri 8 niveluri – Vrancea 1977

În cazul structurilor acționate de cutremurul Vrancea 1977 se constată că forța seismică de bază cu valoarea cea mai mare se înregistrează în cazul structurii contravântuite. Structura dotată cu amortizori cu frecare de 100kN (str. am. 100kN) înregistrează cea mai mică deplasare la vârf și cea mai mică forță tăietoare de bază cu 22.58% mai mică față de structura contravântuită și cu 5.10% mai mică față de structura prevăzută cu amortizori de 50kN (str. am. 50kN) (Fig.5.4.14).

Practic, în cazul structurilor cu 8 niveluri există o corelație directă nivelul forței tăietoare seismice de bază și deplasarea la vârf a structurii pentru trei din cele patru structuri analizate respectiv: structura în cadre și structurile prevazute cu amortizori cu frecare cu capacitatea de 50kN și 100kN.

Un parametru important care relevă răspunsul seismic al structurilor îl reprezintă deplasările relative de nivel. Procentul deplasărilor relative de nivel fiind criteriul principal ce trebuie îndeplinit în proiectarea seismică a structurilor. Deplasările relative de nivel ale celor 4 structuri cu 11 niveluri supuse celor 3 accelerograme pentru prezentate în Figura 5.4.15.

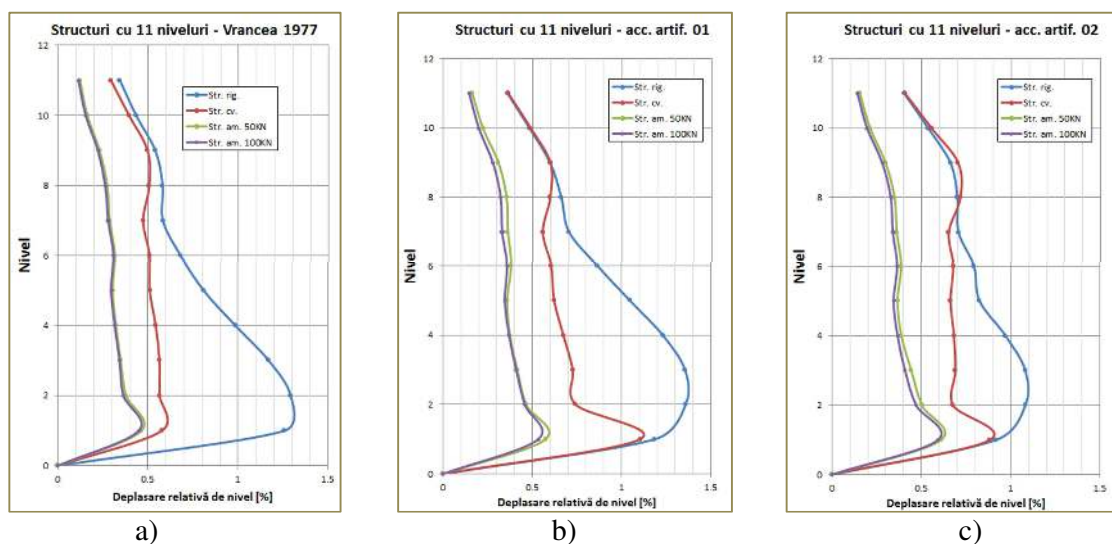


Figura 5.4.15 Deplasări relative de nivel – structuri cu 11 niveluri pentru accelerogramele: a) Vrancea 1977, b) Artificială 01, c) Artificială 02

Se observă că rigidizarea adusă de contravântuiri dar și echiparea structurilor cu amortizare adăugată conduce la reducerea deplasărilor de nivel pentru cele 3 accelerograme (fig.5.4.15).

În acest caz reducerea cea mai mare în ceea ce privește deplasarea relativă de nivel se constată între structura necontravântuită și structura contravântuită centric.

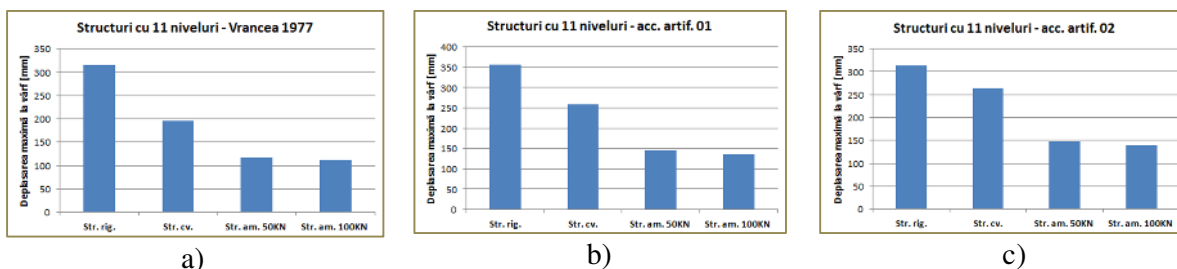


Figura 5.4.16 Deplasări maxime la vârf – structuri cu 11 niveluri pentru accelerogramele: a) Vrancea 1977, b) Artificială 01, c) Artificială 02

Deplasarea maximă la vârf pentru cele trei accelerograme (Fig. 5.4.16) se produce în cazul structurii în cadre (str.rig.). Valoarea minimă a acestui parametru se înregistrează în cadrul structurii prevăzute cu amortizori cu capacitatea de 100 KN (Str. am 100KN), cu până la 61.80% față de structura în cadre (str. rig.) în cazul accelerogramei artificiale 01.

În figura 5.4.17 sunt prezentate variațiile accelerației laterale de la ultimul nivel al celor patru structuri cu 11 niveluri analizate, prin aplicarea accelerogramei Vrancea 1977.

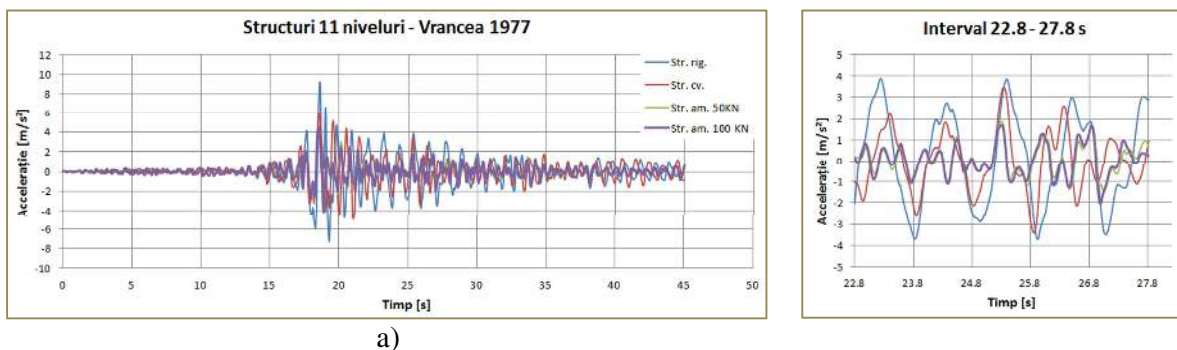


Figura 5.4.17 Variația accelerației laterale la ultimul nivel – structuri cu 11 niveluri pentru accelerograma Vrancea 1977

Răspunsul în timp pentru structurile cu 11 niveluri acționate seismic în cazul celor trei accelerograme sunt prezentate în două imagini alăturate din figura 5.4.17, prima dintre ele reprezentând variația accelerației la ultimul nivel pe întreaga durată a accelerogramei, iar a doua prezintă un interval de cinci secunde.

Pentru accelerograma Vrancea 1977, valoarea maximă a accelerației laterale la ultimul nivel se înregistrează de către structura în cadre (str. rig.) și este de 9.22 m/s^2 , iar valoarea minimă este înregistrată în cazul structurii cu amortizori cu capacitate de 100 KN (str. am. 100KN) și este de 4.54 m/s^2 . Se constată practic o reducere de până la 50.75% a valorii accelerației maxime la ultimul nivel.

În urma studiului asupra răspunsului în termeni de accelerații maxime la ultimul nivel pentru structurile cu opt niveluri se constată o variabilitate destul de mare pentru cele trei accelerograme. Reducerea răspunsului seismic aflându-se în intervalul de 38.28%-50.75%.

Variația forței seismice maxime de bază în paralel cu valoarea maximă a deplasării maxime de nivel pentru structurile cu 11 niveluri este prezentată în Figura 5.4.18.

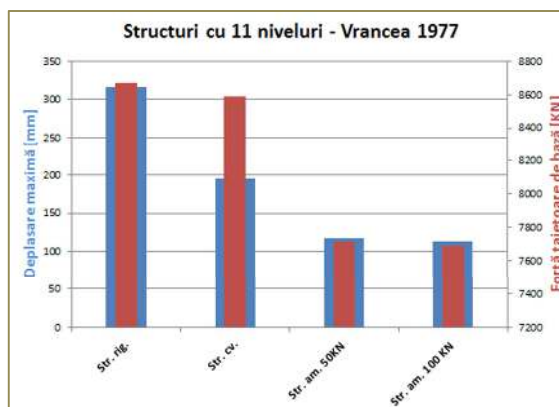


Figura 5.4.18 Variația forței tăietoare seismice de bază maxime în funcție de rigiditatea laterală – structuri 11 niveluri – Vrancea 1977

În cazul structurilor acționate de cutremurul Vrancea 1977 se constată că forța seismică de bază cu valoarea cea mai mare se înregistrează în cazul structurii în cadre necontravântuite (str. rig.). Structura dotată cu amortizori cu frecare de 100kN (str. am. 100kN) înregistrează cea mai mică deplasare la vârf și cea mai mică forță tăietoare de bază cu 11.29% mai mică față de structura necontravântuită și cu doar 0.33% mai mică față de structura prevăzută cu amortizori de 50kN (str. am. 50kN) (Fig.5.4.18).

Abordarea energetică a problematicei rigiditate versus amortizare adăugată poate scoate în evidență anumite aspecte ce pot “scăpa” proiectantului în proiectarea clasică bazată pe studiul stărilor cinematice (deplasări laterale) și stărilor statice (forțe tăietoare seismice de bază).

5.4.3 Analiză comparativă a componentelor energetice. Abordarea energetică

Abordarea energetică a proiectării structurilor își are începuturile în anul 1956 (Housner, 1956) când Housner propunea asigurarea prin proiectare a unei capacități necesare de absorbție a energiei induse în structură.

Ecuția de bilanț energetic (5.4.1) implică componentele energetice ale răspunsului seismic:

- E_i – Energia de input seismic;
- E_k – energia cinetică dezvoltată de mișcarea maselor;
- $E_{s,e}$ – energia de deformație elastică (prin deformații elastice ale elementelor);
- E_D – energia disipată prin amortizare inerentă a structurii;
- $E_{s,h}$ – energia disipată prin deformații plastice (articulații plastice);
- E_{AD} – energia disipată de dispozitivele de protecție seismică.

$$E_i = E_k + E_{s,e} + E_D + E_{s,h} + E_{AD} \quad (5.4.1)$$

Capacitatea de absorbție energetică E_{ABS} este a unei structuri acționate seismic este dată de amortizarea inerentă a structurii, de deformațiile plastice produse elementelor structurale și nestructurale și de echipamentele de protecție seismică cu care este echipată structura (Popescu, 2014).

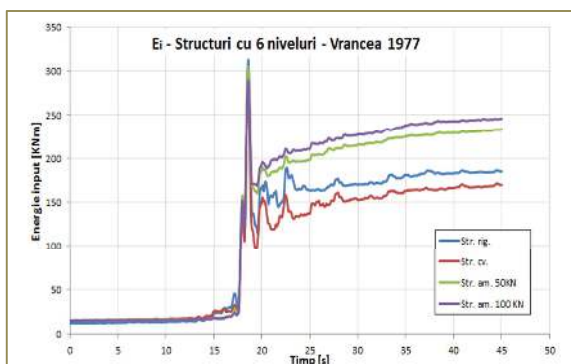


Figura 5.4.19 Energia seismică de input – Vrancea 1977

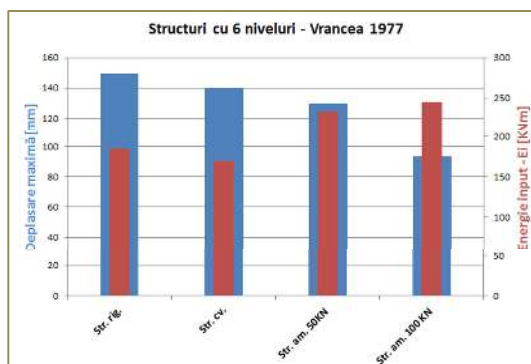


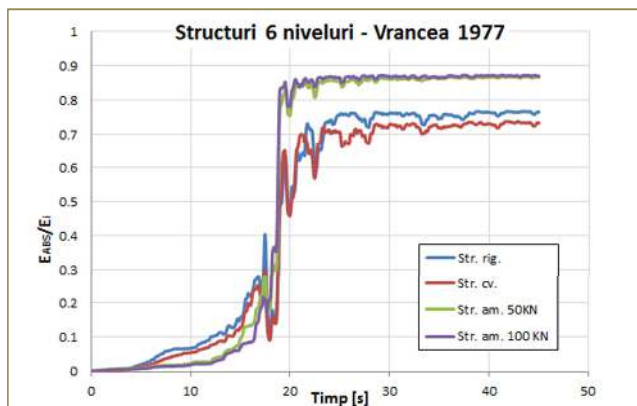
Figura 5.4.20 Variația deplasării maxime a structurilor versus energia seismică de input – Vrancea 1977

În cazul acțiunii seismice Vrancea 1977 aplicate structurilor cu șase niveluri se observă o variație a cantității de input seismic astfel (fig. 5.4.19):

- Structura contravântuită centric (cu rigiditate laterală mare) “atrage” cantitatea cea mai mică de energie de input: 169.59 kNm;
- Structura echipată cu amortizori cu capacitatea de 100 kN (rigiditate laterală mai mică față de structura contravântuită centric) “atrage” o energie de input de 245.47 kNm, cu 44.74% mai mult față de structura contravântuită centric (Figura 5.4.20).

Pentru structurile cu 6 niveluri echipate cu amortizori cu frecare supuse accelerogramei Vrancea 1977 se constată o creștere a energiei absorbite de structură E_{ABS} cu până la 10.43% față de structura cu 6 niveluri necontravântuită.

Starea energetică a structurii fiind direct dependentă de acțiunea seismică și caracteristicile structurii, variația raportului E_{ABS}/E_I oferă concluzii utile referitoare la starea energetică a unei structuri.



a)

Figura 5.4.21 Raportul E_{ABS}/E_I - structuri 6 niveluri – Vrancea 1977

În figura 5.4.21 se observă că valoarea cea mai mare a raportului E_{ABS}/E_I se înregistrează în cazul structurilor echipate cu amortizori cu frecare, urmată de structura în cadre necontravântuite iar valoarea cea mai mică este înregistrată de structura contravântuită centric.

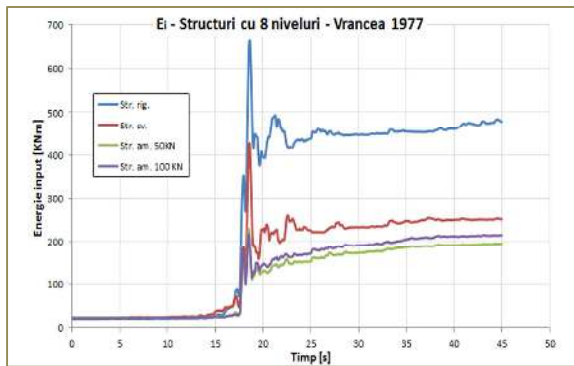


Figura 5.4.22 Energia seismică de input – Vrancea 1977

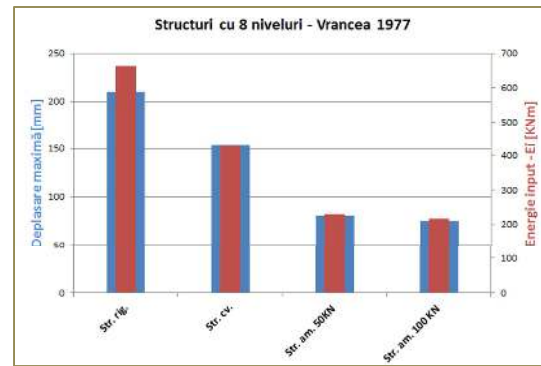


Figura 5.4.23 Variația deplasării maxime a structurilor versus energia seismică de input – Vrancea 1977

În cazul acțiunii seismice Vrancea 1977 aplicate structurilor cu opt niveluri se observă o variație a cantității de input seismic astfel (fig. 5.4.22):

- Structura echipată cu amortizori cu capacitatea de 100 kN “atrage” cantitatea cea mai mică energiede input: 216.55 kNm;
- Structura în cadre necontravântuită (rigiditate lateră mică) “atrage” o energie de input de 664.50 kNm, cu 306.87 % mai mult față de structura în cadre necontravântuită (Figura 5.4.23);
- În acest caz există o corelație între nivelul deplasării maxime și energia de input seismic.

Pentru structurile cu opt niveluri supuse accelerogramei Vrancea 1977 se constată o valoare a energiei absorbite de structură E_{ABS} de aproximativ 90% din energia E_i de input seismic. Totodată se poate observa o scadere a energiei de input seismic în cazul structurilor echipate cu amortizare adăugată.

În figura 5.4.24 se observă că valoarea cea mai mare a raportului E_{ABS}/E_i , pentru structurile cu opt niveluri supuse acțiunii seismice Vrancea 1977 se înregistrează în cazul structurii în cadre necontravântuite, urmată de structura în cadre contravântuită centric iar valoarea cea mai mica este înregistrată de structura echipată cu amortizori cu capacitatea de 50kN. Față de cazul structurilor cu șase niveluri valorile raportului E_{ABS}/E_i pentru cele patru structuri analizate sunt mult mai apropiate între ele, în jurul valorii de 0.9.

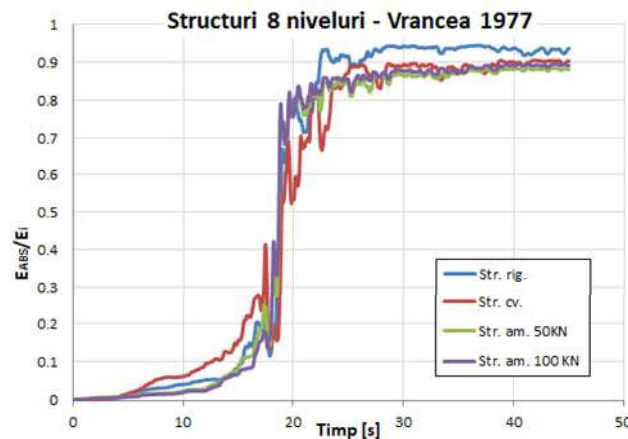


Figura 5.4.24 Raportul E_{ABS}/E_i - structuri 8 niveluri – Vrancea 1977

Pentru structurile cu 8 niveluri echipate cu amortizori cu frecare energia de input E_i este cu până la 12% mai mică față de structura în cadre necontravântuite .

În cazul acțiunii seismice Vrancea 1977 aplicate structurilor cu 11 niveluri se observă o variație a cantității de input seismic astfel (fig. 5.4.25):

- Structura în cadre necontravântuită (cu rigiditate laterală mică) “atrage” cantitatea cea mai mare de energie de input: 1819.37 KJm;
- Structura echipată cu amortizori cu capacitatea de 100 KN “atrage” o energie de input de 471.81 KJm, de 3.85 ori mai puțin față de structura în cadre necontravântuite (Figura 5.4.26);
- Deplasările în cazul structurii echipate cu amortizori cu capacitatea de 100 KN sunt de 2.80 ori mai mici față de structura în cadre necontravântuite (Figura 5.4.59).

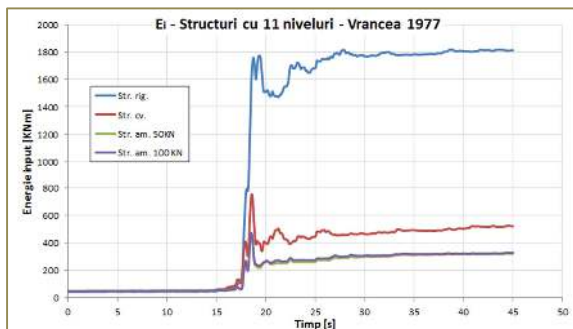


Figura 5.4.25 Energia seismică de input
– Vrancea 1977

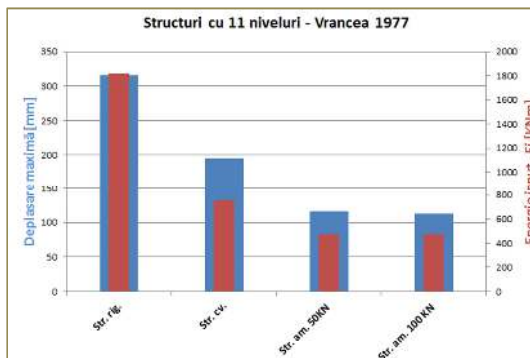


Figura 5.4.26 Variația deplasării maxime a structurilor versus energia seismică de input
– Vrancea 1977

În figura 5.4.27 se observă că valoarea cea mai mică a raportului E_{ABS}/E_I se înregistrează în cazul structurilor echipate cu amortizori cu frecare, urmată de structura contravântuită centric iar valoarea cea mai mică este înregistrată de structura în cadre necontravântuită.

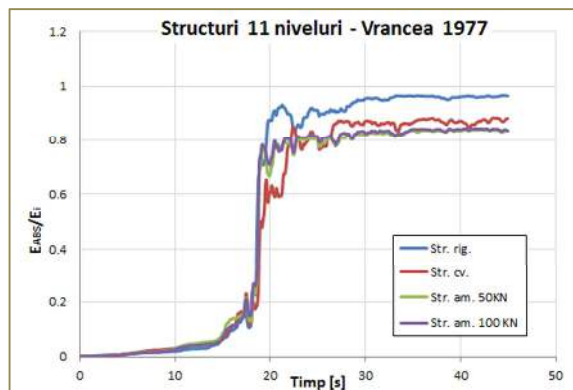


Figura 5.4.27 Raportul E_{ABS}/E_I - structuri 11 niveluri – Vrancea 1977

Printre parametri răspunsului energetic se enumeră și energia cinetică E_k și energia potențială E_p . Acești doi parametri sunt studiați în cadrul Anexei A a tezei.

5.4.1 Concluzii

În cadrul studiului de caz au fost realizate o serie de analize dinamice neliniare asupra a patru tipuri de structuri cu 6, 8 și respectiv 11 niveluri. În urma acestor analize s-a evidențiat răspunsul seismic al structurilor atât în termeni clasici ca: deplasarea relativă de nivel, forță

tăietoare de bază sau nivelul accelerațiilor la ultimul nivel cât și în termeni energetici: energie seismică de input, energie seismică absorbită cât și raportul Energie absorbită/Energie de input.

În urma analizelor efectuate în cadrul acestui studiu se pot observa următoarele:

- Pentru structurile cu 6 niveluri analizate forța tăietoare de bază maximă se înregistrează în cazul structurii rigidizate (str. rig.);
- În cazul structurilor cu 8 niveluri analizate forța tăietoare de bază maximă se înregistrează în cazul structurii contravântuite;
- Reducerea accelerațiilor la ultimul nivel al structurilor prevăzute cu amortizori cu frecare crește odată cu creșterea regimului de înălțime al acestor structuri;
- Reducerea cea mai mare a accelerațiilor maxime la vârful structurii se înregistrează în cazul structurii cu 11 niveluri echipate cu amortizori cu capacitatea de 100KN, cu 50.75% mai mici față de nivelul accelerației maxime înregistrate în cazul structurii rigidizate (str. rig);
- Se poate observa ca în cazul structurilor echipate cu amortizori cu frecare, acestea nu numai că disipă o mare parte din energia de input seismic, dar este mai mic și nivelul de input seismic față de cel al structurilor în cadre necontravântuite și contravântuite centric;

6. Capitolul 6. Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare

Obiectivul principal al tezei „**Răspunsul seismic al structurilor în cadre contravântuite echipate cu amortizori cu frecare prin rotație**” a fost reprezentat de studiul răspunsului seismic al structurilor în cadre metalice echipate cu amortizori cu frecare prin rotație pentru condițiile seismice din România. Acest studiu a urmărit atât răspunsul componentelor tradiționale (deplasări, accelerații, forțe tăietoare de nivel etc.) cât și a componentelor energetice. Acești amortizori pot fi înglobați în sistemul tradițional de contravântuire, rezultând un sistem cu o comportare îmbunătățită la acțiunea seismică. Au fost prezentate noțiuni generale de dinamica structurilor cât și un studiu de caz asupra efectului amortizării adăugate asupra unei structuri în cadre metalice. În cadrul acestui prim studiu de caz au fost analizate componentele amortizării modale și a amortizării inelastice.

Au fost prezentate principalele dispozitive folosite pentru protecția seismică a structurilor și exemple de aplicare ale acestora precum și studii din literatura de specialitate cu privire la răspunsul seismic în termeni energetici a structurilor echipate cu amortizare adaugată. A fost realizată o prezentare extinsă pentru dispozitivele cu amortizare cu frecare. Deasemenea este prezentată abordarea energetică a proiectării atât pentru structuri cu un grad de libertate dinamică cât și pentru structuri cu mai multe grade de libertate dinamică.

Am realizat studii experimentale pentru determinarea curbelor de histerezis în cazul a doi amortizori cu frecare. Pentru realizarea acestor experimente a fost necesară construirea unei mașini de încercări universală. Am realizat studii privind îmbunătățirea răspunsului seismic al structurilor utilizând amortizori cu frecare. Prin echiparea structurilor cu astfel de amortizori se poate mări rigiditatea laterală fără a crește semnificativ masa acestora, deasemenea aceste sisteme duc uneori la economii materiale substanțiale.

6.1 Contribuții personale

Pentru îndeplinirea obiectivelor tezei am obținut o serie de rezultate care pot fi considerate contribuții personale la dezvoltarea domeniului studiat:

- Proiectarea și construirea unui aparat de încercări universale adaptat pentru încercarea amortizorilor cu frecare (cap. 4, subcapitolul 4.1);
- Realizarea evaluării experimentale a buclor de histerezis pentru doi amortizori cu frecare construiți de autor (cap. 4, subcapitolele 4.2 și 4.3) ;
- Studii comparative cu privire la capacitatea de absorbție energetică (cap.5, subcapitolul 5.2) rezultată prin rigidizare și, respectiv prin echiparea cu amortizori cu frecare pentru un set de structuri cu 6 niveluri. Pe lângă răspunsul seismic tradițional exprimat în termeni de deplasări și accelerații la vârful structurii, am studiat componentele energetice răspunsului energetic al

structurii. A fost studiată curba histeretică pentru un amortizor situat la primul nivel al structurilor, cu capacitate de 50 KN, respectiv, 150 KN; Prin aceste studii a fost demonstrată eficiența reducerii răspunsului seismic pentru structurile echipate cu amortizări cu frecare, pentru accelerograme caracteristice mișcărilor seismice Vrancea.

- Studii comparative cu privire la influența numărului și a poziției amortizorilor cu frecare în cadrul unor structuri metalice cu 6 niveluri (cap.5, subcapitolul 5.3). Au fost studiate deplasările maxime la vârf, forța tăietoare de bază, energia de input seismic, energia disipată de sistem și variația în timp a raportului Energie de input/energie disipată; Prin aceste studii am scos în evidență dependența răspunsului seismic al structurilor de poziția dispozitivelor în cazul structurilor.
- Studii comparative privind răspunsul seismic (cap.5, subcapitolul 5.4) a unor structuri metalice cu 6, 8 și 11 niveluri rigidizate prin secțiuni mari, contravântuite centric și, respectiv, echipate cu amortizori cu frecare de diferite capacități. Pentru aceste studii au fost realizate 30 de analize dinamice neliniare de tip “time-history”. În urma acestor analize au rezultat o serie de concluzii referitoare la influența rigidizării structurilor respectiv, a amortizării adăugate asupra componentelor răspunsului seismic: accelerații maxime la vârf, deplasări relative de nivel, energie seismică de input, forțe tăietoare de bază, energie absorbită și a raportului Energie de input/energie absorbită; În cadrul acestor studii s-a demonstrat eficiența echipării structurilor metalice din punct de vedere al reducerii: deplasării maxime de nivel, accelerațiilor de nivel, energiei seismice de intrare în sistem.

6.2 Direcții viitoare de cercetare

În procesul de îndeplinire a obiectivelor tezei de doctorat autorul consideră de interes noi direcții de cercetare în domeniul studiat:

- Studii privind eficiența echipării cu amortizori cu frecare a structurilor existente ce necesită upgradare seismică;
- Studii privind răspunsul seismic al structurilor în cadre multi-etajate spațiale echipate cu amortizori cu frecare. Modelul spațial va crește acuratețea studiilor numerice;
- Studii privind răspunsul seismic al structurilor în cadre multi-etajate spațiale echipate cu amortizori cu frecare în interacțiune cu terenul de fundare;
- Analize economice: Costuri comparative cu privire la posibilitatea echipării structurilor noi și a celor existente cu amortizori cu frecare față de varianta rigidizării acestora prin secțiuni mărite sau contravântuire.

Bibliografie

1. Breabăn, V., Al. Negoita, I. Pop, C. Ionescu, I. Olariu, A. Vulpe, V. Hobjila, F. Scharf, I.Negoita – Inginerie seismică, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1985;
2. Breabăn,V., Balan, F., Budescu, M. – Aplicații ale ingineriei seismice, Editura Tehnica, Bucuresti, 1988;
3. Cheng, F.Y.; Jiang, H.; Lou K. – Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Response Control, ISBN 978-0-8493-8532-2, 2008;
4. Chopra, A.K. – Dynamics of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632,1995;
5. Fema 273 – “Nehrp Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FederalEmergency Management Agency (FEMA)”, 1997;
6. Ghindea, C. L. – Studiul unor metode de atenuare a acțiunii seismice asupra structurilor, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2008;
7. Housner G.W. – Limit design of structures to resist earthquakes. Proceedings of the 1st World Conference on Earthquake Engineering. Berkeley, California, 1956;
8. Ifrim, M. – Dinamica structurilor și inginerie seismică, Ediția a II-a, revizuită, Editura didactică și pedagogică – București, 1984;

9. Inaudi, J., Kelly J. – Dynamics of Homogeneous Frictional Systems, Dynamic with Friction: Modeling, Analysis and Experiment, pp. 93-136, edited by A. Guran, F. Pfeiffer and K. Popp, Series on Stability, Vibration and Control of Systems Series B: Vol 7, World Scientific Publishing Company, 1996;
10. Ionescu, A. – Contribuții privind proiectarea antiseismică a structurilor de construcții prevazute cu dispozitive de amortizare a vibrațiilor, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, 2017;
11. Muala, I.H. – Parameters Influencing the Behavior of a New Friction Damper Device, Dept. of Structural Eng. & Materials, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark, 2000;
12. Muala, I.H.; Jakupsson E.D.; Nielsen L.O. – Structural Behavior of 5000KN Damper, 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2010;
13. Oance, I. S. – Construcții metalice în cadre contravântuite echipate cu amortizori cu frecare prin rotație, Raport de cercetare nr.2, Universitatea Ovidius din Constanța, Școala Doctorală de Științe Aplicate, 2019;
14. Oance, I. S. – Îmbunătățirea răspunsului seismic al cadrelor contravântuite prin echiparea cu amortizori cu frecare prin rotație, Raport de cercetare nr.3, Universitatea Ovidius din Constanța, Școala Doctorală de Științe Aplicate, 2019;
15. Oance, I. S.; Gelmambet S. – Effect of Number and Position of Rotational Friction Dampers on Seismic Response of Steel Structures, Ovidius University Annals, Series Civil Engineering. 2019, Vol. 21 Issue 1, p99-104.6p., DOI: <https://doi.org/10.2478/ouacsce-2019-0011>;
16. Oance, I. S.; Gelmambet, S.; Popa, A.R. – Tension and Compression Testing Machine for Friction Dampers, Ovidius University Annals, Series Civil Engineering. 2019, Vol. 21 Issue 1, p105-108.4p., DOI: <https://doi.org/10.2478/ouacsce-2019-0012>;
17. Oance, I. S.; Gelmambet S. – Seismic Analysis of Steel Structures Using Friction Dampers, International Conference CIBv Civil Engineering and Building Services, Brașov, Romania, 2019, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 789 012046, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/789/1/012046>;
18. Pall, A.; Marsh, C.; Fazio, P. – Limited Slip Bolted Joints for Large Panel Structures, Proceedings, Symposium on Behavior of Building Systems and Building Components, Nashville, U.S.A., March, pp. 385-494, 1979;
19. Paulay T., Bachmann H., Moser K. – “Proiectarea structurilor de beton armat la acțiuni seismice”, Editura Tehnică, 1997;
20. Revista Construcțiilor – <https://www.revistaconstrucțiilor.eu/index.php/2015/03/12/>
a. revista-construcțiilor-martie-2015;
21. Serban V. – “Structura sandvis, dispozitiv având în componenta structura pentru preluarea și amortizarea încărcărilor pentru controlul comportării unei structuri și rețea de dispozitive”; Brevet de invenție nr. 119845/29.04.2005;
22. Shao D.; Pall A.; Soli B., – Friction Dampers for Seismic Upgrade of A 14-Story Patient Tower With A 36-Foot Tall Soft-Story, Proceeding, 8th US National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, Paper #90, April 2006;
23. Stratan, A. – Dinamica structurilor și inginerie seismică - note de curs, Timișoara, 2014;
24. Văcărescu, N.G., Stratan, A., Dubină D. – Sisteme structurale disipative cu contravântuiri cu amortizori cu frecare: Studiu de soluție și comparație cu sistemele convenționale- partea 1, Conferința Națională de Construcții Metalice, București, 21-22 noiembrie 2013;