

Titlu proiect: **Protecția seismică a structurilor cu sisteme de contravântuiri disipative echipate cu amortizoare cu fluid nano-micro magneto-reologic (SEMNAL-MRD)**
<http://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/semnal-mrd.htm>

Nr. contract: **PN II nr. PCCA 77 / 2014**

Raport Etapa I / 2014

Denumire etapă: **Etapa I: Cerințe seismice vs. capacitate de răspuns structural: dispozitive de disipare pasive și active**

Activitatea I.1: Tipologii și caracteristici ale cutremurelor din Romania

Activitatea I.2: Direcții actuale în protecția seismică a structurilor

Activitatea I.3: Dispozitive disipative pasive și semi-active

Cuprins

1. Introducere	2
1.1. Obiectivele proiectului	2
1.2. Obiectivele Etapei I / 2014.....	2
2. Sinteza activităților din Etapa I.....	2
2.1. Tipologii și caracteristici ale cutremurelor din Romania	2
2.2. Direcții actuale în protecția seismică a structurilor.....	3
2.3. Sinteza experienței și rezultatelor obținute de către parteneri în relație cu obiectivele proiectului .	6
2.3.1. <i>Raport sintetic asupra studiilor efectuate la UPT (Centrul CEMSIG) asupra sistemelor histeretice pasive aplicate pentru protecția structurilor în cadre</i>	<i>6</i>
2.3.1.1. <i>Evaluarea performanțelor seismice a sistemelor în cadre metalice, echipate cu panouri de forfecare din oțel ca elemente disipative.....</i>	<i>6</i>
2.3.1.2. <i>Structuri duale echipate cu contravântuiri cu flambaj împiedicat (BRB).....</i>	<i>6</i>
2.3.1.3. <i>Evaluarea performanțelor structurilor în cadre contravântuite centric echipate cu amortizori cu frecare în contravântuiri</i>	<i>7</i>
2.3.2. <i>Raport sintetic privind soluțiile tehnice pentru amortizori magneto-reologici realizați pentru a fi folosiți într-un sistem pasiv, respectiv sistem semi-activ (IMS-AR).....</i>	<i>9</i>
2.3.3. <i>Raport sintetic privind lichidele magneto-reologice și aspectele care trebuie avute în vedere în contextul etapei următoare (AR-FT)</i>	<i>11</i>
2.3.4. <i>Raport sintetic a experienței privind tipurile de amortizori, și respectiv a capabilității de testare (TITAN) – Amortizori antiseismici: tipuri constructive și capabilități de testare</i>	<i>12</i>
2.4. Studiu efectuat în vederea estimării preliminare a parametrilor funcționali ai unui amortizor cu fluid magneto-reologic (UPT).....	13
3. Concluzii	19
4. Referințe.....	20

1. Introducere

Prezentul raport sintetizează activitățile prevăzute în planul de realizare a proiectului în Etapa I/2014. Prima parte a raportului (Secțiunile 2.1, 2.2 și 2.3) cuprinde informații cu caracter monografic care reprezintă în bună măsură experiența și capacitățile partenerilor în domeniul de cercetare al proiectului. În partea a doua (Secțiunea 2.4) se prezintă rezultatele cercetărilor realizate în cadrul proiectului pentru identificarea și definirea parametrilor funcționali ai unui amortizor MR care urmează să fie realizat în Etapa II / 2015.

1.1. Obiectivele proiectului

Obiectivul general al proiectului este dezvoltarea unui sistem de protecție anti-seismică, care utilizează amortizoare pe baza de fluide MR, care să acționeze într-un sistem de control structural semi-activ. Obiectivele specifice în această etapă a proiectului de cercetare sunt următoarele:

- Dezvoltarea unor nano-micro fluide magneto-reologice care să fie compatibile cu cerințele amortizoarelor anti-seismice;
- Proiectarea și fabricarea unui amortizor MR prototip, de capacitate 10 t;
- Evaluarea și validarea prototipului prin încercări experimentale, ce vor avea ca referință EN 15129-2009: Dispozitive anti-seismice;
- Proiectarea, fabricarea, testarea și modelarea numerică a unui sistem hibrid contravântuire cu flambaj împiedicat – amortizor; calibrarea unui model numeric capabil să simuleze comportarea amortizorului;
- Testarea numerică a unor structuri în cadre echipate cu sisteme hibride de disipare “contravântuire-amortizor”;
- Proiectarea și testarea numerică a algoritmului de control pentru un sistem cu singur grad de libertate.

1.2. Obiectivele Etapei I / 2014

Programul de cercetare al Etapei I/2014 are ca obiect definirea capacității de răspuns a structurii în relație cu solicitarea seismică specifică în condițiile echipării cu dispozitive de disipare pasive și/sau active. În acest context, cercetările efectuate au vizat următoarele teme: (i) tipologii și caracteristici ale cutremurelor din România; (ii) direcții actuale în protecția seismică a structurilor; (iii) dispozitive disipative pasive și semi-active. Obiective specifice asociate acestor teme se referă la:

- Particularitățile seismicității teritoriului României; Influența tipului de mișcare seismică asupra răspunsului structurilor;
- Sisteme structurale duale cu contravântuiri disipative cu sau fără amortizori;
- Estimarea preliminară a parametrilor funcționali ai amortizorului MRD de 10 tf.

2. Sinteza activităților din Etapa I

2.1. Tipologii și caracteristici ale cutremurelor din România

Din punctul de vedere al proiectării unei structuri, hazardul seismic este descris de valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului (a_g – vezi Figura 1a) determinată pentru un interval mediu de recurență (IMR) corespunzător stării limită ultime (SLU) a structurii.

Mișcarea seismică într-un punct pe suprafața terenului este descrisă prin spectre de răspuns elastic ale pseudo-accelerației (2 componente orizontale și 1 verticală). În plus, condițiile locale de teren (descrise prin valorile perioadei de control T_c – vezi Figura 1b) afectează amplificarea maximă a accelerației terenului și conținutul de frecvențe al mișcării seismice.

Înregistrările seismice din timpul cutremurelor (accelerogramele) prezintă o diversitate mare a formei. Acestea pot fi caracterizate pe baza unor parametri ingineresti precum: amplitudinea, conținutul de frecvențe, durata mișcării. Din punct de vedere al amplitudinii, accelerația și viteza pot avea valori diferite în funcție de teren. Astfel, pentru același cutremur (Vrancea 30.08.1986), amplitudini mai mari au fost înregistrate corespunzător unei locații cu teren foarte moale (Măgurele $\rightarrow 1.147\text{m/s}^2, 0.163\text{m/s}$), comparativ cu o locație având aceeași distanță epicentrală și distanță la falie însă cu un teren de tip rocă tare (Cărcaliu $\rightarrow 0.696\text{m/s}^2, 0.048\text{m/s}$). Din punct de vedere al conținutului de frecvență, mișcarea înregistrată pe terenul moale din are un conținut mai bogat de frecvențe în domeniul perioadelor intermediare și lungi (accelerații și viteze spectrale mai mari în acest interval). Acest fapt este indicat și de valorile perioadei de control T_c a

celor două înregistrări (0.97 față de 0.31). Parametrii de durată a celor două înregistrări au arătat o valori ale duratei semnificative (5-95%) de 16s la stația de pe terenul moale, și 29.6s la stația de pe terenul tare.

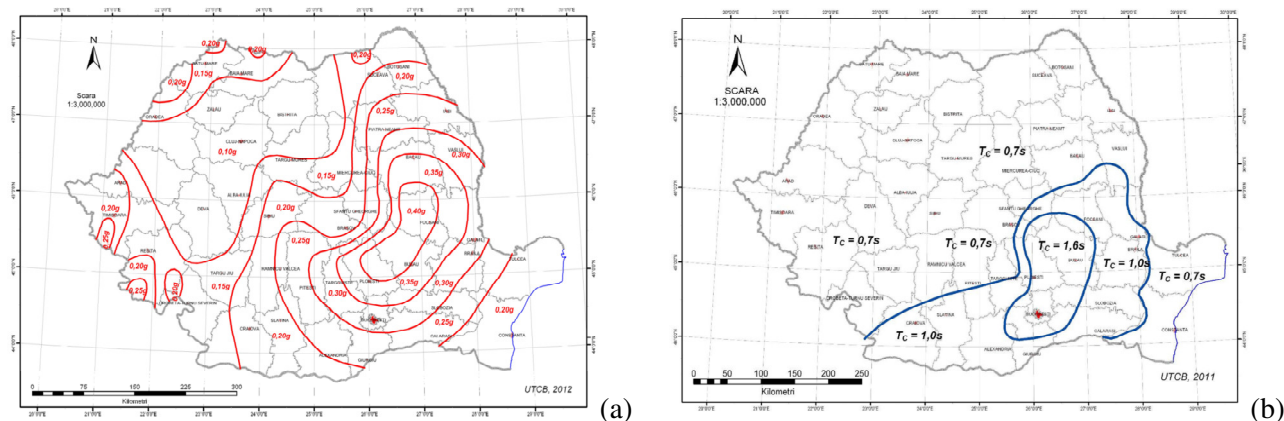


Figura 1. Zonarea teritoriului României în funcție de (a) accelerația de vârf a terenului a_g , și (b) perioada de control (T_c) [1]

Din punct de vedere al caracteristicilor, în mod particular spectrul de răspuns elastic al pseudo-accelerației, cutremurele din Vrancea prezintă valori mari ale accelerației pentru perioade cuprinse între $T_B=0.32s$ și $T_C=1.6s$. În contrast, cutremurele din Banat prezintă valori mari ale accelerației pentru perioade cuprinse $T_B=0.14s$ și $T_C=0.7s$. Prin urmare, tipul de mișcare seismică are o influență mai mică sau mai mare asupra răspunsului unei structuri în funcție de perioada proprie de vibrație a acesteia. Astfel, răspunsul elastic al unui sistem cu un singur grad de libertate obținut dintr-o analiza dinamică (time-history), cu acțiunea seismică definită de accelerogramele înregistrate la INCERC București 04.03.1977, și BANLOC – REPLICA 1 – 01.07.1991, variază în funcție de perioada de vibrație. Unui sistem cu o perioadă $T=0.5s$ îi corespund următoarele valori maxime ale deplasărilor pentru cele două accelerograme: $d=2m$ / $d=0.0015m$. La o perioadă $T=1.5s$, sistemul înregistrează următoarele valori maxime: $d=30m$ / $d=0.007m$.

În calculul dinamic al structurilor mișcarea seismică a terenului este descrisă prin variația în timp a accelerației. Pentru analiza dinamică a unei structuri, se pot folosi accelerograme existente, respectiv accelerogramele artificiale. Astfel, în această etapă a proiectului au fost generate un set de 7 accelerograme pe baza spectrului de răspuns elastic al accelerațiilor absolute în București (vezi Figura 2a), respectiv Timișoara (vezi Figura 2b). Accelerogramele artificiale generate pentru cele două tipuri de amplasament sunt prezentate în Secțiunea 2.4.

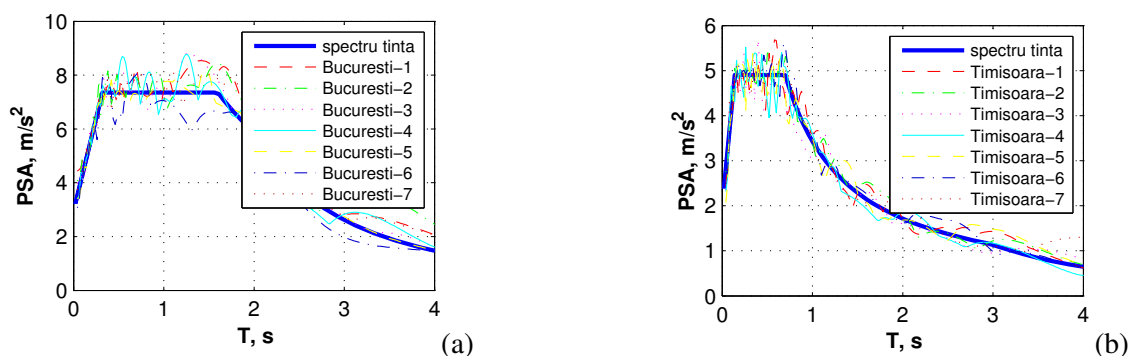


Figura 2. Spectrul de răspuns elastic al accelerogramelor artificiale comparat cu spectrul țintă de răspuns elastic al accelerațiilor absolute în: (a) București, (b) Timișoara

2.2. Direcții actuale în protecția seismică a structurilor

În practica curentă există trei strategii eficiente de a reduce riscul seismic:

- Proiectare bazată pe capacitate (reducerea forțelor seismice de proiectare);
- Creșterea amortizării globale în structură;
- Adoptarea unor sisteme de control structural.

În cele ce urmează sunt tratate ultimele două metode. Figura 3 sintetizează principalele soluții tehnice corespunzătoare ale acestora. Tabelul 1 specifică soluțiile tehnice disponibile pentru protejarea structurilor.

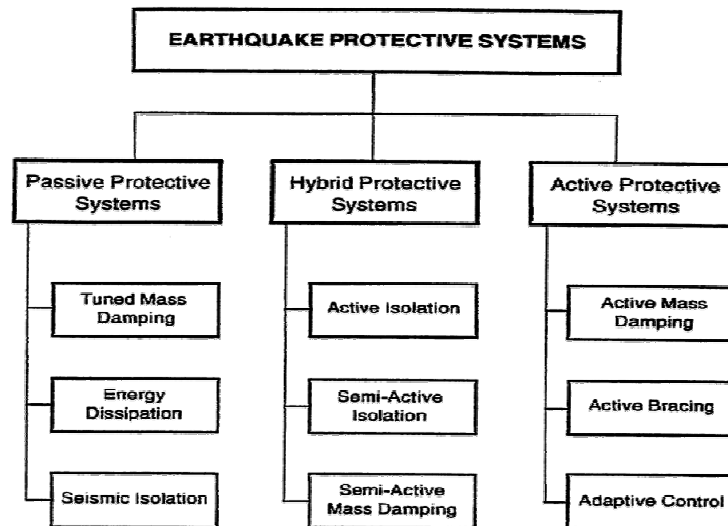


Figura 3. Principalele soluții tehnice ale strategiei de reducere a riscului seismic [2]

Tabelul 1. Sisteme de protecție structurală [3]

Izolare seismică	Disipare pasivă de energie	Control activ și semi-activ
- Reazeme elastomerice - Reazeme elastomerice cu miez de plumb - Pendul de tip glisare cu frecare	- Amortizori metalici - Amortizori cu frecare - Amortizori visco-elastici (VED) - Amortizori cu fluid vâcos (FVD) - Amortizori cu fluid magneto-reologic (MRD) - pasivi - Amortizori acordați (masă / lichid)	- Sisteme cu contravântuiri active - Sisteme cu rigiditate sau amortizare variabile (MRD activi / semi-activi) - Amortizori cu masă activi - Materiale inteligente

Prezentul proiect se referă cu precădere la dispozitivele de disipare/amortizare a energiei seismice, pasive sau cu control semi-activ. Dispozitive pasive de disipare a energiei sunt de obicei clasificate în dispozitive independente de viteză (sistemele hysteretice sau sisteme bazate pe frecare - Figura 4), și dispozitive dependente de viteza de deformare (sistemele vâscoase sau vâsco-elastice - Figura 5).

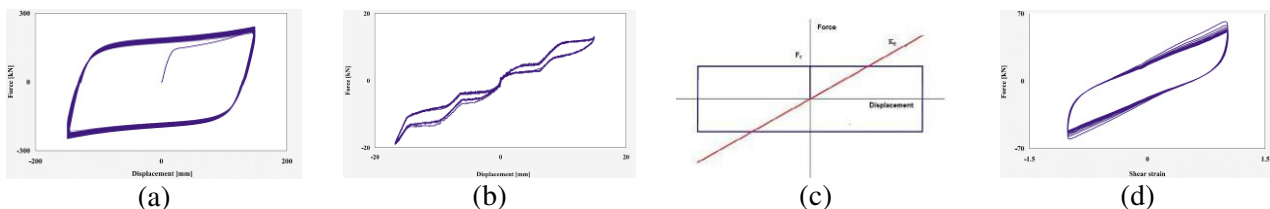


Figura 4. Comportarea hysteretică a unor dispozitivelor dependente de deplasare[4] [5]: (a) amortizoare hysteretice, (b) dispozitive cu memorie de forma, (c) dispozitive cu frecare, (d) amortizoare vâsco-elastice

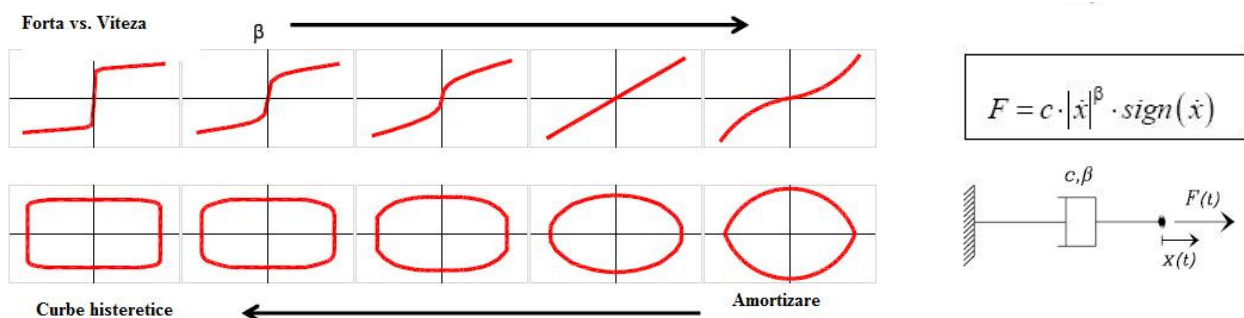


Figura 5. Influența vitezei asupra comportării hysteretice pentru amortizori cu lichid vâcos [4]

În Figura 6 se prezintă calitativ efectele unei amortizări sporite pe care o pot induce în structură dispozitivele de amortizare. Spre deosebire de sistemele de disipare prin deformări controlate (în procesul de proiectare), la care anumite elemente ale structurii suferă deformări ireversibile și trebuie înlocuite/reparate după cutremur, amortizoarele, atâta timp cât sunt funcționale, protejează integral structura.

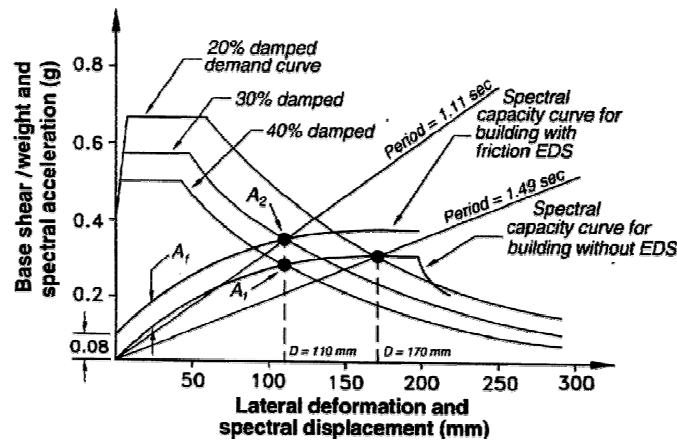


Figura 6. Curbe ale capacității și cerinței spectrale pentru o clădire parter reabilitată [6]

Controlul structural, poate fi aplicat prin intermediul unor sisteme de control active sau semi-active. Sisteme de control activ au capacitatea de a se adapta la diferite condiții de încărcare și de a controla diferite moduri de vibrație ale structurii. Schema de principiu a unui sistem de control activ este prezentată în Figura 7. În cadrul acestui sistem, semnalele transmise actuatorilor de control, sunt în funcție de răspunsul sistemului structural determinat de mișcarea seismică, răspuns măsurat cu ajutorul unor senzori fizici. Sarcina principală a proiectantului unui astfel de sistem de control activ este stabilirea algoritmului de control, care pe baza răspunsului măsurat al structurii, să stabilească semnale de control adecvate pentru a fi trimise elementelor active de acționare.

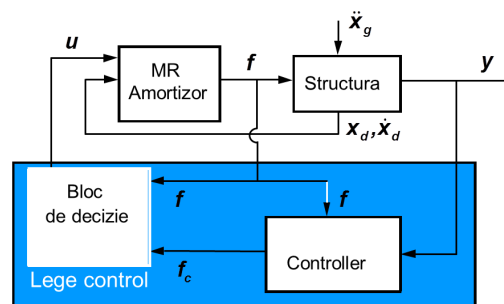


Figura 7. Schema de principiu a unui sistem de control activ

Sistemele de amortizare active sunt superioare celor pasive prin capacitatea lor de a se adapta în timpul mișcării seismice pentru a răspunde optim la mișcarea indusă de cutremur. Există totuși și dezavantaje la acest tip de sisteme dintre care cel major este necesitatea unei surse de energie neîntrerupte pentru ca acest tip de sistem să funcționeze. Ca urmare a acestui fapt s-au dezvoltat la nivel mondial un alt tip → sisteme semi-active. Un dispozitiv de control semi-activ cum sunt cele cu lichide magneto-reologice, este caracterizat prin faptul că proprietățile sale pot fi ajustate în timp real, dar nu pot introduce energie în sistemul controlat. De cele mai multe ori, aceste dispozitive sunt denumite amortizoare pasive controlabile. Datorită faptului că sistemele de control semi-activ oferă capacitatea de adaptare a dispozitivelor de control active, fără însă a necesita surse de alimentare de mare putere, a făcut ca aceste amortizoare să atragă o atenție sporită în ultimii ani arătând o comportare superioară dispozitivelor pasive (vezi Figura 8).

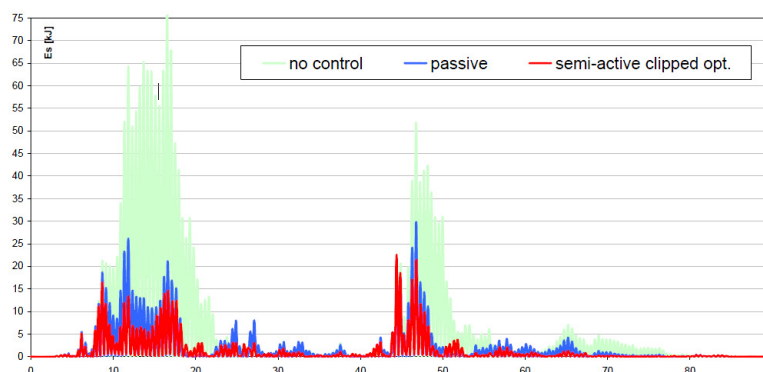


Figura 8. Energia de deformare elastică din modelul dinamic (fără control, cu control pasiv / semi-activ) pe durata accelerogramei Calitri scalată la o accelerație de vârf a terenului de 0.25g [7]

Sistemele de control semi-activ combină cele mai bune caracteristici ale ambelor sisteme de control, atât pasiv cât și activ, și reprezintă o direcție importantă de cercetare.

Datorită variației mari a mișcărilor seismice în funcție de tipologia de teren și datorită posibilității ca o structură să fie afectată pe durata vieții de mai multe cutremure cu o intensitate redusă, o altă cale de cercetare o reprezintă cuplarea parțială a strategiilor de protecție seismică. Este vorba de “sistemele hibride” care combină, spre exemplu un dispozitiv histeretic pasiv cu un dispozitiv de amortizare semi-activ. Cele două se pot calibra pe baza unui algoritm de protecție bazat pe criterii de performanță progresive, astfel încât să lucreze în serie pe bază de performanță: mai întâi amortizorul semi-activ, apoi dispozitivul histeretic.

Obiectivul final al proiectului prezent constă în realizarea unui asemenea sistem care-și propune să cupleze un amortizor magneto-reologic cu nano-micro ferofluid - pasiv sau semi-activ - cu o contravântuire cu flambaj împiedecat (BRB), care lucrează ca un dispozitiv histeretic pasiv.

2.3. *Sinteza experienței și rezultatelor obținute de către parteneri în relație cu obiectivele proiectului*

2.3.1. *Raport sintetic asupra studiilor efectuate la UPT (Centrul CEMSIG) asupra sistemelor histeretice pasive aplicate pentru protecția structurilor în cadre*

2.3.1.1. *Evaluarea performanțelor seismice a sistemelor în cadre metalice, echipate cu panouri de forfecare din oțel ca elemente disipative*

Programul de cercetare realizat în cadrul centrului CEMSIG a avut ca obiective determinarea performanțelor seismice a clădirilor metalice echipate cu panouri de forfecare din oțel (DSSW), calibrarea factorului de comportare seismică “q” pentru aceste structuri și studierea influenței grosimii panourilor de forfecare și a tipului de îmbinare grindă-stâlp (rigid/semi-rigid) asupra comportării globale. Pentru calibrarea modelelor numerice s-a realizat un program de încercări experimentale pe cadre cu două nivele, extrase dintr-o configurație structurală cu 6 etaje cu panouri de forfecare în deschiderile laterale. Cadrele experimentale au fost testate în regim monoton și ciclic cu panouri de 2 și 3 mm, și cu o configurație rigidă și semi-rigidă a nodurilor grindă-stâlp.

Având la bază rezultatele experimentale, performanța structurilor cu panouri de forfecare a fost studiată în continuare prin modelări numerice pe cadre multietajate, folosind pentru modelarea panourilor modelul cu fâșii întinse [8]. Cadrele au fost evaluate la diferite nivele de performanță sub acțiunea a 7 accelerograme scalate pe spectrul de proiectare, caracteristice zonei Vrancea din România cu $T_C=1,6s$. Valorile factorului q obținute numeric au fost apropiate de cele obținute experimental cu o medie de $q=5$. Atât partea experimentală cât și cea numerică au arătat că panourile de forfecare pot susține un drift relativ de 4% (echivalentul unei rotiri plastice în grinzi de 0.035 rad), iar introducerea acestui sistem în structură crește capacitatea totală a structurii prezentând de asemenea o comportare disipativă foarte bună.

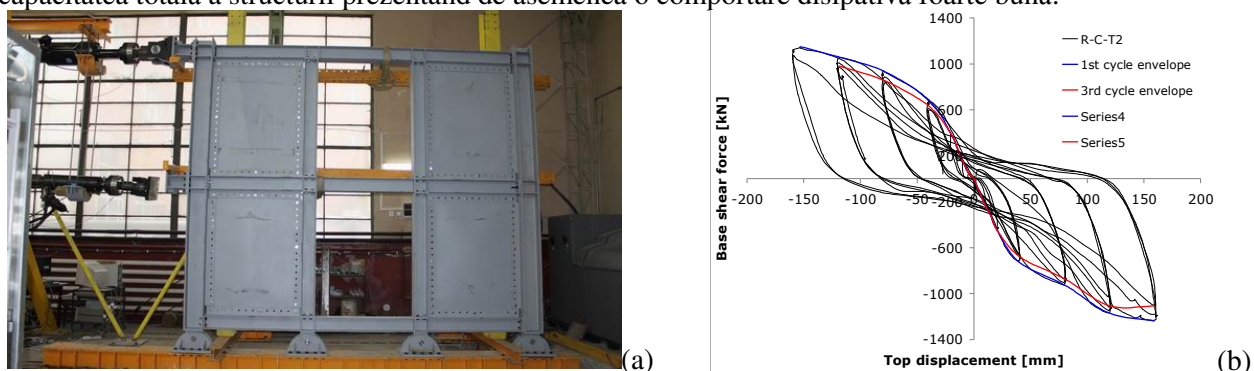


Figura 9. Încercări experimentale pe cadrul cu DSSW: (a) stand experimental, (b) răspuns ciclic [9][10]

2.3.1.2. *Structuri duale echipate cu contravântuiri cu flambaj împiedecat (BRB)*

Programul de cercetare realizat în cadrul centrului CEMSIG a avut ca obiective studiul folosirii contravântuirilor cu flambaj împiedecat pentru protecția seismică a unor structuri în cadre din beton armat proiectate inițial numai la acțiunea forțelor gravitaționale. Scopul programului a fost de a investiga și valida o soluție disipativă cu contravântuiri cu flambaj împiedecat și de a defini o procedură de analiză pe criterii de performanță a structurilor din beton consolidate cu această soluție. Programul experimental din cadrul proiectului de cercetare a fost unul în premiera în România. În cadrul acestuia s-a conceput, fabricat și

testat un prototip de contravântuire cu flambaj împiedicat. Acestea au fost testate inițial ca subansamblu, atât monoton cât și ciclic, urmărind comportarea globală a acestora, dar și influența a diferite tipuri de material de interfață între miezul de oțel și betonul de umplutură din contravântuire.

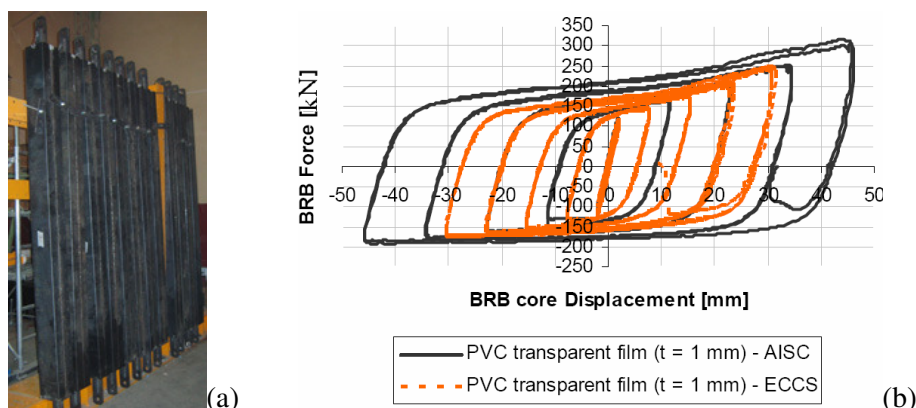


Figura 10. Contravântuiri cu flambaj împiedicat: (a) specimene realizate și testate, (b) comportare histeretică obținută experimental [11][12]

Modelele numerice pentru BRB-uri calibrate în urma încercărilor pe element au fost implementate pentru determinarea performanțelor seismice a unei clădiri istorice din beton armat proiectată inițial numai la forțe gravitaționale și reabilitată cu aceste contravântuiri. Pentru validarea rezultatelor numerice au fost realizate un al doilea set de încercări experimentale pe cadre din beton scara 1:1 echipate cu sistemul BRB într-o configurație structurală V întors. Cadrele au fost testate în regim monoton și ciclic urmărind și comportarea elementelor de legătură între cadru și contravântuiri proiectate special pentru această situație. Programul a propus de asemenea și o metodologie de proiectare cât și un studiu asupra factorului de comportare q , demonstrând eficiența unui sistem cu BRB-uri pentru reabilitarea cadrelor din beton armat.

2.3.1.3. Evaluarea performanțelor structurilor în cadre contravântuite centric echipate cu amortizori cu frecare în contravântuiri

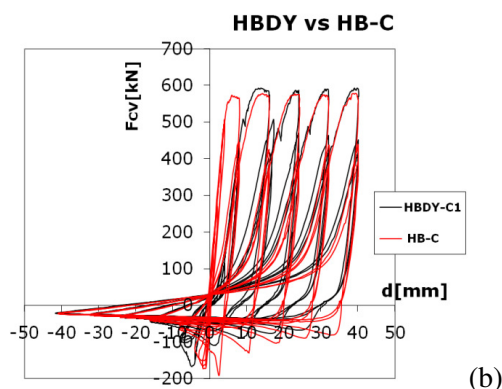
Programul de cercetare a avut ca scop studiul unui prototip de dispozitiv de amortizare pe bază de frecare cu întărire de rigiditate și stabilirea pe bază de criterii de performanță a comportării la acțiunea seismică a clădirilor metalice în cadre contravântuite centric, echipate cu aceste dispozitive de amortizare în contravântuiri. Dispozitivul de amortizare studiat este un amortizor cu întărire de rigiditate a cărui comportare se împarte în două zone distincte. O zonă inițială cu rigiditate scăzută care are ca scop creșterea perioadei de vibrație, conducând structura pe panta descendentă a spectrului de proiectare ($T > T_C$) și implicit reducând forțele seismice, și o a doua zonă cu rigiditate mare concepută pentru a limita deplasările structurii pentru valori mari ale acțiunii seismice. Comportarea distinctă a acestui dispozitiv a condus la dezvoltarea a două concepte de proiectare diferite. Un prin concept de proiectare folosit este de a proiecta contravântuirile pentru a rămâne în domeniul elastic și de a controla răspunsul exclusiv prin intermediul amortizorilor cu frecare. În acest caz, structura nu are elemente ductile, este proiectată cu un factor de comportare corespunzător clasei de ductilitate scăzută $1 < q < 2$ și va beneficia de reducerea forțelor seismice de proiectare din creșterea amortizării la nivel de structură. Un al doilea concept de proiectare folosit constă din asigurarea unei suprarezistențe a amortizorului comparativ cu contravântuirea pentru ca aceasta să sufere deformații în domeniul plastic și astfel să devină elementul mai slab din configurație. Acest concept ar beneficia teoretic atât de capacitatea de disipare de energie a contravântuirii cât și de amortizarea suplimentară dată de dispozitiv, iar cedarea se va localiza în contravântuire și nu în dispozitiv. Astfel, pentru un nivel al intensității acțiunii seismice corespunzător stării limită ultime contravântuirea este elementul “activ” conform principiului de proiectare disipativ, iar pentru un nivel corespunzător stării limită de serviciu amortizorul este elementul “activ” asigurând că contravântuirea rămâne în domeniul elastic și oferind o creștere a amortizării globale. Programul experimental a cuprins încercări de laborator în regim monoton și ciclic, pe dispozitivele de amortizare și pe sub-ansamblul format din contravântuire în varianta clasică și contravântuire cu amortizor, extras din cadrul de referință (Figura 10a), în cele două concepte de proiectare.

Încercările pentru conceptul de proiectare în care contravântuirea lucrează împreună cu dispozitivul de amortizare reprezintă punctul central al programului de cercetare și vor fi cele prezentate în continuare. Elementul mai slab în această configurație a fost contravântuirea care este elementul care va ceda la final. Comportarea acestui sistem este prezentată în Figura 10b în comparație cu comportarea înregistrată de

aceeași contravântuire sub același protocol de încărcare fără amortizor. În amândouă configurațiile la întindere forța scade semnificativ după primul ciclu din fiecare nivel de încărcare, ciclurile 2 și 3 înregistrând un nivel de forță similar. Contravântuirea cu amortizor are o flexibilitate mai mare înregistrând curgerea la același pas de încărcare dar la o valoare a deplasării totale cu aproximativ 50% mai mare decât cea fără amortizor. Pentru acest sistem, până la un nivel de încărcare corespunzător $2e_y$, comportarea globală este guvernată de comportarea amortizorului. După acest nivel comportarea ansamblului este similară cu comportarea contravântuirii simple.



(a)



(b)

Figura 11. Încercări experimentale pe ansamblu contravântuire-amortizor: (a) stand experimental, (b) comportarea ciclică [13][14]

Pe baza rezultatelor experimentale s-a calibrat un model numeric pentru amortizor, contravântuire și ansamblul contravântuire- amortizor. Aceste modele au fost implementate în modelări numerice pe cadre contravântuite centric cu contravântuiri în V întors. S-au realizat analize de tip “time-history” folosind două seturi de accelerograme scalate pe spectrul de proiectare, accelerograme scalate pe spectrul de răspuns specific terenului moale (București) și accelerograme artificiale scalate pe spectrul de răspuns specific terenului tare (teren clasă B conform SR-EN 1998-1 [15]) atât cu, cât și fără amortizori în contravântuiri. S-a realizat o evaluare pe criterii de performanță folosind criteriile de conformare pentru deformații plastice în contravântuiri și rotiri plastice în grinzi / stâlpi din FEMA 356 [16], și în plus s-au monitorizat deplasările de nivel, deplasarea la vârful structurii și deplasarea remanentă. Pentru comparație, același set de modelări numerice a fost repetat folosind modelul unui amortizor pe bază de frecare clasic, cu o comportare histeretică rectangulară. Rezultatele obținute pentru teren moale caracterizat de $T_c=1.6s$ nu au arătat o influență pozitivă a dispozitivelor asupra răspunsului structurii. Cadrul cu amortizor SERB este mult mai flexibil și înregistrează apariția articulațiilor plastice în contravântuiri chiar de la SLS. La SLU structura cu amortizori are valori mai mari pentru deplasările relative de nivel și pentru deformațiile plastice din contravântuiri. În plus, se formează articulații plastice în grinzele centrale și la baza stâlpilor. În urma studiului a rezultat că acest tip particular de amortizor cu frecare nu este eficient în reducerea răspunsului seismic a structurilor contravântuite centric pentru mișcări seismice caracteristice unui teren moale. Pentru structuri rigide afectate de mișcări seismice caracteristice unui teren tare, amortizorul studiat evită formarea articulațiilor plastice în contravântuiri la SLS, reduce numărul articulațiilor plastice la celelalte nivele de performanță și deplasările permanente și este deci eficient în reducerea răspunsului structurii în acest caz.

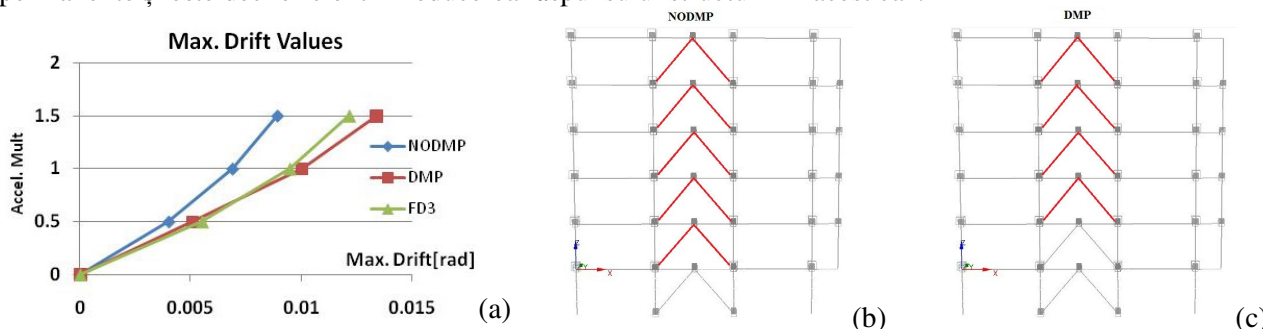


Figura 12. Modelări numerice (teren tare): (a) drift de nivel; localizarea articulațiilor plastice în structura fără amortizor (b), și cu amortizor (c) [13][14]

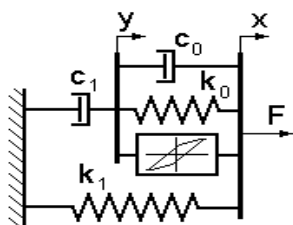
Programul de cercetare a arătat că amortizorul cu frecare SERB are o comportare nesatisfăcătoare pentru teren slab, pentru toate structurile studiate datorită creșterii flexibilității structurii și apariției articulațiilor

plastice în elemente nedisipative. Pentru cutremure caracteristice unui teren tare, cu perioadă de colț mică, amortizorul SERB îmbunătățește răspunsul seismic al cadrelor rigide cu contravântuiri în V inversat. În acest caz evită formarea articulațiilor plastice în contravântuiri la SLS și reduce numărul articulațiilor plastice la celelalte nivele de performanță, reducând totodată și deplasările permanente. De asemenea, studiul a demonstrat o posibilitate de combinare a două concepte de proiectare și posibilitatea ca două elemente disipative să lucreze cu succes împreună într-un concept care să folosească pe rând atuările fiecăruia. Pe de altă parte, studiul demonstrează că un sistem hibrid, compus dintr-un dispozitiv histeretic (contravântuirea) și un amortizor (în acest caz dispozitivul SERB), funcționează iar comportarea sa poate fi simulată numeric printr-un model adecvat.

2.3.2. Raport sintetic privind soluțiile tehnice pentru amortizori magneto-reologici realizați pentru a fi folosiți într-un sistem pasiv, respectiv sistem semi-activ (IMS-AR)

Această secțiune sintetizează experiența IMS-AR privind modelarea comportării dinamice a amortizoarelor magneto-reologice (MRD), respectiv a strategiei de control și limitare a deplasărilor relative de nivel. Astfel, utilizarea MRD în sistemele de control al răspunsului seismic al structurilor necesită determinarea în prealabil a unui model analitic pe baza căruia să poată fi predeterminată comportarea acestora în condiții impuse și analizate atât modul în care pot fi implementate anumite strategii de control și eficiența acestora pentru protecția seismică. Un astfel de model trebuie să aibă în vedere descrierea cât mai exactă a caracteristicilor puternic neliniare datorate proprietăților reologice ale fluidului magneto-reologic utilizat în amortizor. Descrierea făcută de model trebuie să fie valabilă pe un interval larg de variație a deplasărilor și vitezelor pistonului amortizorului precum și pentru o variație continuă a curentului de control, specifice condițiilor tehnice de exploatare.

În secțiunile următoare sunt prezentate și analizate rezultatele experimentale obținute la încercarea unui MRD pe stand (vezi Figura 15), precum și modul în care modelul adoptat aproximează comportamentul amortizorului în condiții specifice de exploatare. Cu acest dispozitiv se pot genera forțe de până la 2000 N fără ca valoarea intensității curentului să depășească 2A, la viteze ale pistonului de aproximativ 0.15 m/s. Reprezentarea schematică și analitică a modelului pentru amortizorul testat sunt prezentate mai jos.



Forța de amortizare este descrisă de sistemul de ecuații:

$$F = c_1 \dot{y} + k_1(x - x_0), \dot{y} = \frac{1}{c_0 + c_1} [c_0 \dot{x} + k_0(x - y) + kz]$$

$$\dot{z} = -\gamma |\dot{x} - \dot{y}| z |z|^{n-1} - \beta (\dot{x} - \dot{y}) |z|^n + \alpha (\dot{x} - \dot{y})$$

Parametrii α , β , γ , n și k_1 sunt considerați constanți iar c_0 , c_1 , k și k_0 funcții dependente de curent: $c_0=c_0(i)$, $c_1=c_1(i)$, $k=k(i)$ și $k_0=k_0(i)$.

Pentru a caracteriza dinamica fluidului MR, variația curentului de control este descris de ecuația $\frac{di}{dt} = -\frac{1}{T}(i - i_a)$, unde $i_a(t)$ este curentul aplicat MRD și T este timpul de răspuns în care forța dezvoltată de MRD atinge 90% din valoarea corespunzătoare a curentului aplicat i_a . Identificarea modelului s-a făcut pe baza rezultatelor experimentale folosind algoritmi genetici. Figura 13, în care sunt prezentate comparativ caracteristicile forță (N) – deplasare (cm), și forță (N) – viteză (cm/s), obținute experimental și prin simulare numerică pentru o încercare ciclică cu frecvența de 1.5 Hz și amplitudinea 1.6 cm la un curent de control de 0.8 A, demonstrează eficiența modelului analitic.

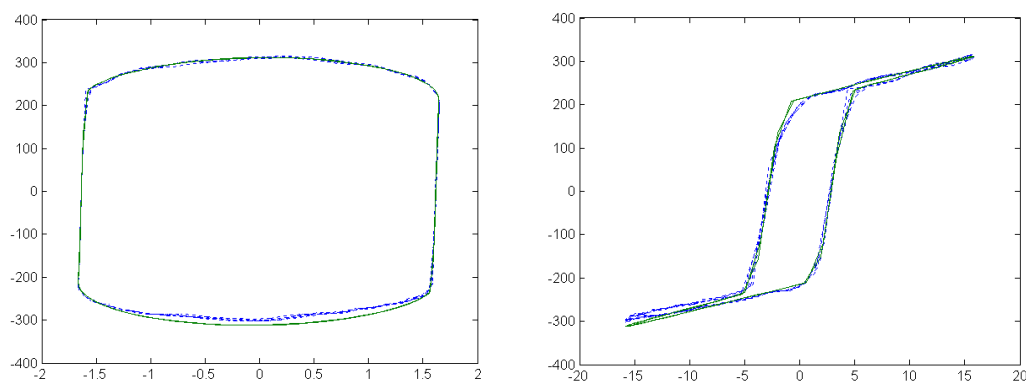


Figura 13. Caracteristicile de lucru ale MRD obținute experimental și simulate numeric

Strategia de control al deplasărilor relative de nivel cu MRD, montate în sisteme de contravântuire, care va fi implementată și testată în laborator pe modele de structuri de tip “shear frame” va consta în aplicarea unui curent de control exprimat printr-o funcție de valorile lor absolute. În Figura 14 sunt reprezentate diagramele forță (N) – deplasare (m), obținute prin simulare numerică cu utilizarea acestei strategii de control pentru deplasări relative sinusoidale cu amplitudinea de 0.2 m și cu frecvențele de 1 Hz și 2 Hz.

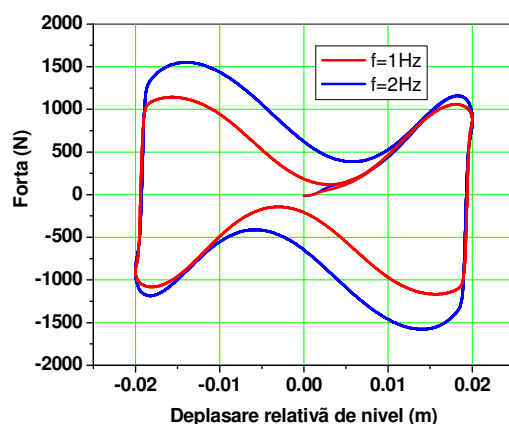


Figura 14. Caracteristici de tip “papion” ale MRD obținute prin simulare numerică

Avantajele preconizate ale tipului de control semi-activ, propus pentru menținerea deplasărilor relative de nivel în limitele prescrise, sunt:

- Forțele dezvoltate au valori mici pentru deplasări relative de nivel mici și nu produc șocuri la intrarea în funcțiune a contravântuirii așa cum apar în cazul contravântuirilor cu frecare;
- Prin această strategie de control contravântuirea MRD devine un element de consolidare a clădirii care acționează gradual după o lege dorită, spre deosebire de dispozitivele de contravântuire cu flambaj împiedicat, la care disiparea de energie se face prin deformații elasto-plastice alternative;
- Strategia de control propusă transformă caracteristica MRD, preponderent hidraulică pentru valori constante ale curentului aplicat, într-o caracteristică de histerezis dependentă, în principal, de valoarea absolută a deplasărilor de nivel și mai puțin de frecvența acestora, ceea ce este dificil de realizat cu amortizoare hidraulice pasive.

Pentru a se testa modul în care utilizarea MRD în sistemele de control al răspunsului seismic al structurilor modifică răspunsul acestor structuri la solicitările de tip seismic, în cadrul IMS-AR a fost realizat un dispozitiv MRD (Figura 15a) și o structură elastică cu trei mase concentrate (Figura 15b) cu o frecvență de rezonanță de aproximativ 1.09 Hz.

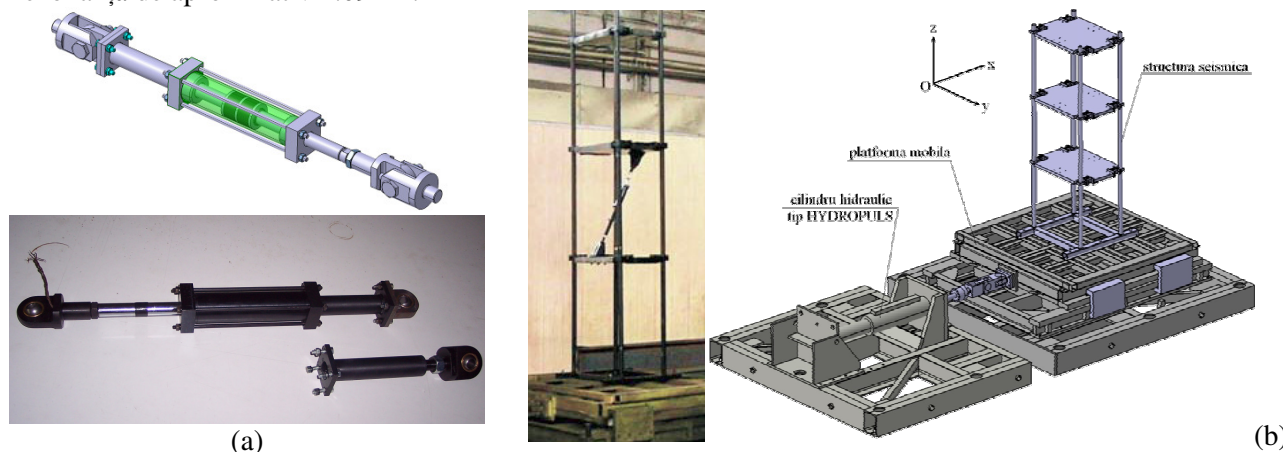


Figura 15. Dispozitivul MRD (a) și structura elastică (b)

Dispozitivul MRD dezvoltă o forță maximă de amortizare de 200 daN pentru un curent maxim de 1.5 A. Testele s-au realizat cu dispozitivul MRD montat între nivelele 1 și 2. În timpul testelor dispozitivul MRD a funcționat ca element pasiv, cu forța de amortizare constantă corespunzătoare unor valori ale curentului de comandă ($i_1 = 0,05$ A; $i_2 = 0,26$ A; $i_3 = 0,51$ A; $i_4 = 0,76$ A; $i_5 = 1,00$ A și $i_6 = 1,23$ A), și respectiv ca element semi-activ. Astfel, răspunsul structurii elastice cu MRD utilizat ca dispozitiv de amortizare în cadrul unui sistem de control al mișcării de tip semi-activ cu o logică de control balance-logic este prezentat în

Figura 16. Utilizarea amortizorului MR în regim semi-activ are ca efect o mărire a rigidității structurii datorită faptului că amortizare se realizează cu forțe rezistente și nu prin disipare de tip vâscos. De subliniat că dispozitivul MRD cu o logică de tip secvențial, în cazul în care este folosit pentru izolarea la bază a clădirilor, poate prelua și funcția portantă a elementului elastic dacă elementul de execuție (amortizorul MR) este realizat cu magneți permanenți (se elimină consumul de energie electrică pentru realizarea forței necesare susținerii structurii).

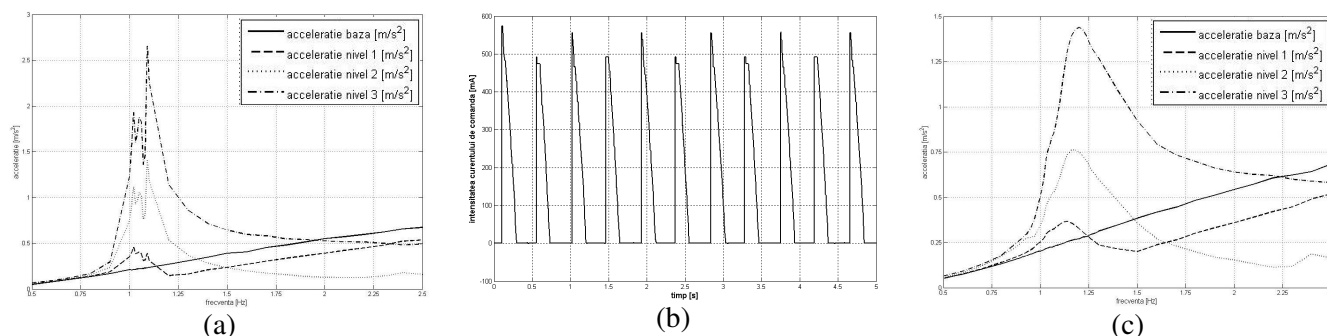


Figura 16. (a) Curbele de răspuns în frecvență cu MRD nealimentat electric, (b) semnalul de control pentru o frecvență de excitație $f=1.1$ Hz și un factor de proporționalitate de 12.5, (c) curbele de răspuns în frecvență cu MRD comandat cu o logică de tip balance-logic

2.3.3. Raport sintetic privind lichidele magneto-reologice și aspectele care trebuie avute în vedere în contextul etapei următoare (AR-FT)

În cazul sistemelor disipative semi-actives componenta de bază este fluidul magneto-reologic (FMR). În cazul dispozitivelor MR semi-actives pentru sisteme disipative folosite la protecția seismică, proprietățile fluidului MR sunt deosebit de importante. În acest context se distinge problema menținerii timp îndelungat a capacității de amortizare MR, respectiv reducerea sau chiar eliminarea efectului sedimentării gravitaționale a componentei magnetice asupra performanțelor amortizorului. Această problemă este una centrală pentru compoziția și procedeul de preparare ale fluidelor MR [17] [18]. Una dintre soluțiile promițătoare este cea a fluidelor MR pe bază de ferrofluid [19].

Pe baza unei analize comparative a unui fluid MR comercial (MRF 140 CG, LORD Co.) și un fluid MR pe bază de ferrofluid concentrat, preparat în laborator, ambele având aceeași fracție volumică magnetică (40%), arată că cel din urmă prezintă atât efect MR, precum și un efect magneto-vâscos mai mare [20], și stabilitate mai mare la sedimentare ireversibilă [21]. Un fluid MR pe bază de ferrofluid este o suspensie de particule micrometrice de Fe într-un ferrofluid. Comportarea fluidului MR pe bază de ferrofluid în câmp neuniform, arată că particulele de Fe nu se separă de mediul de dispersie (ferofluid) și că ele se structurează în formațiuni alungite, care conduc la valoarea ridicată a tensiunii remanente [22].

Comparația dintre fluidul MR comercial și cel pe bază de ferrofluid este prezentată în Figura 17. Se observă că atât tensiunea remanentă normată la M_s^2 cât și creșterea relativă a vâscozității efective sunt mai mari în cazul fluidului MR pe bază de ferrofluid, la aceeași fracție volumică a particulelor magnetice [20].

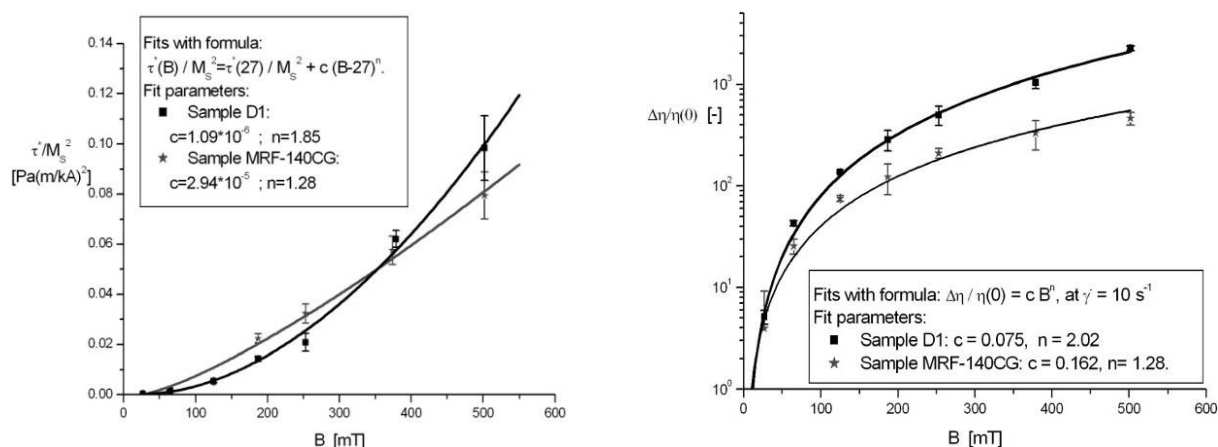


Figura 17. Comparație FMR comercial și FMR pe bază de ferrofluid (D1): D1 sample: $\Phi_{\text{micro}} \approx 0.2$ / $\Phi_{\text{nano}} \approx 0.2$ / $\Phi_{\text{total}} \approx 0.40$; CG sample (LORD): $\Phi_{\text{micro}} \approx 0.40$

În Figura 18 se poate urmări influența fracțiunii volumice a particulelor magnetice nano- și micro-metrice asupra tensiunii remanente statice (a) și dinamice (b), respectiv asupra efectului magneto-vâscos (c). Cantitatea de particule de Fe cu dimensiuni micrometrice dispersate în ferrofluidul concentrat (fracția vol. a nano-particulelor de magnetită 0.23) modifică în mod radical proprietățile magneto-reologice [23].

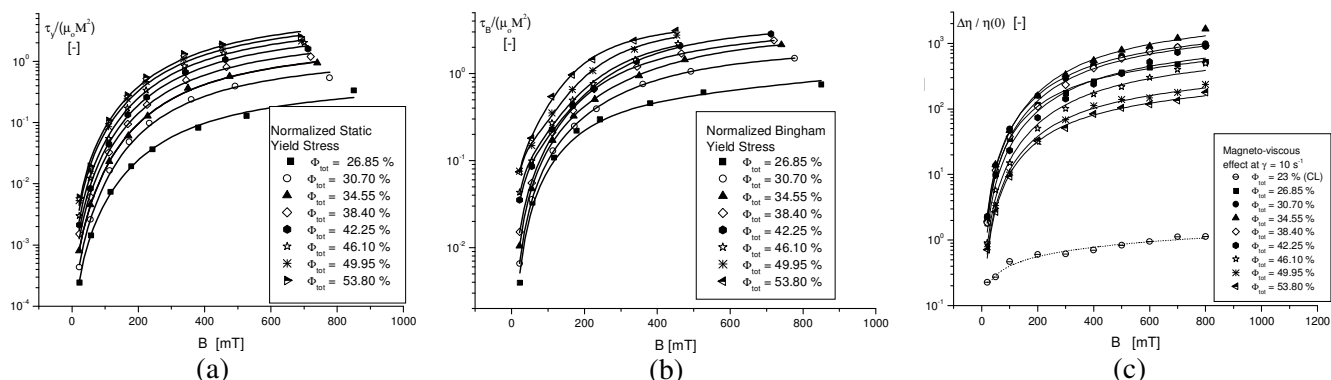


Figura 18. Influența compoziției asupra comportării MR a unui fluid magneto-reologic pe bază de ferrofluid: (a) tensiunea remanenta statica; (b) tensiunea remanenta dinamica (Bingham); (c) efectul magneto-vâscos

Parametrii de compoziție, fracția volumică a nano-particulelor magnetice și fracția volumică a particulelor de Fe multidomenice, de dimensiuni micrometrice (1-10 micrometri), care trebuie să fie moi din punct de vedere magnetic (practic fără histerezis), vor servi la adaptarea proprietăților MR (fine tuning) la cerințele sistemelor semi-active de amortizare seismică.

2.3.4. Raport sintetic a experienței privind tipurile de amortizori, și respectiv a capacității de testare (TITAN) – Amortizori antiseismici: tipuri constructive și capacități de testare

Partenerul P4 (**TITAN S.A.**) va fabrica amortizorul MRD de 10t care va fi proiectat de către **IMS-AR + UPT**, cu nano-micro fluide magneto-reologice fabricate de **ROSEAL S.A.**, pe baza rețetei elaborate de către **AR-FT**. Totodată, **TITAN S.A.** va efectua testele de control în uzină a dispozitivului în vederea omologării.

În cele ce urmează se prezintă experiența **TITAN S.A.** în testarea unor amortizori antiseismici NPS-IBERICA, care au fost omologați în conformitate cu cerințele Codului ASME, a Standardului de Ramură existent la ICPE-București, ICT-București, IMUA-București. Pentru unitățile U1 și U2 de la CNE-Cernavoda s-au fabricat aproximativ 700 de bucăți în trei tipodimensiuni: 7 tf, 25 tf, și 56.7 tf. În perioada ultimilor 5 ani, SC TEN a prestat activități de testare funcțională a tuturor tipurilor de amortizori instalați în CNE Cernavodă pe un stand specializat în concordanță cu cerințele Codului ASME-OM, devenind astfel principalul Service Provider pentru amortizorii antiseismici.

Din punct de vedere constructiv se disting două categorii, respectiv amortizori mecanici și amortizori hidraulici, cei din urmă putând funcționa cu lichide vâscoase sau ferrofluide (MRF). În vederea asigurării capacității de răspuns în orice moment și pentru menținerea integrității sistemelor din CNE în special a celor de securitate nucleară (control și răcire reactor), din doi în doi ani cu ocazia opririlor planificate, amortizorii se supun unor teste funcționale ce vor da siguranța că pe perioada unui seism își vor îndeplini funcția de păstrare a integrității sistemului. În general parametrii funcționali ai amortizorilor sunt:

- Rezistența la înaintare (drag force) $\rightarrow$ 2% din forța nominală;
- Viteza de deplasare $\rightarrow v_{max}=22$ mm/s;
- Accelerația $\rightarrow a_{max}=0.02g$;
- Forța nominală funcție de mărime $\rightarrow 1.8$ kN ... 567 kN;

În Figura 19a se poate observa schema de funcționare a unui amortizor hidraulic (oarecum similar un amortizor cu fluide magneto-reologice cu bypass), iar în Figura 19b prezentate două tipuri de amortizori mecanici antiseismici cu limitare în viteză.

Testele funcționale se execută pe un stand specializat de tip Barker/Diacon S2000, ilustrat în Figura 20, ce se compune din două bancuri de testare ce permit instalarea tuturor tipurilor de amortizori, un grup de pompare hidraulic și un calculator de proces pentru conducerea testelor.

Sistemul permite ca prin intermediul unui cilindru hidraulic să se aplice amortizorului deplasări controlate, viteze controlate și/sau forțe controlate pentru perioade de timp prestabilite. Parametrii de testare pot fi prescriși în limita unor valori prestabilite funcție de tipul constructiv al amortizorului. În plus, sistemul de

testare este dotat cu un soft specializat ce permite testarea unei game largi de amortizori atât mecanici cât și hidraulici, precum și efectuarea de calibrări zilnice ale componentelor ce măsoară forța, deplasarea, viteza, timpul.

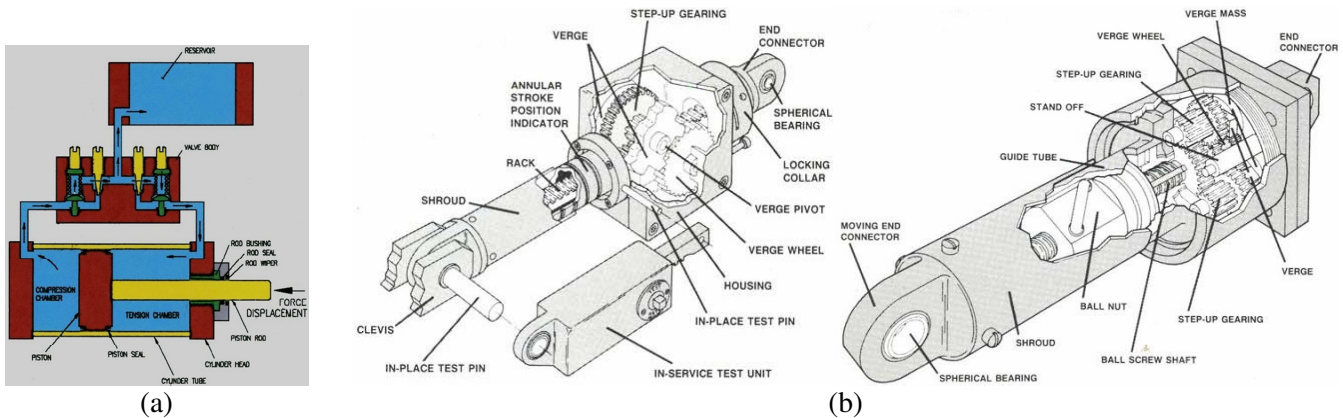


Figura 19. Schema de funcționare: amortizor hidraulic (a), amortizori mecanici cu limitare în viteză (b)

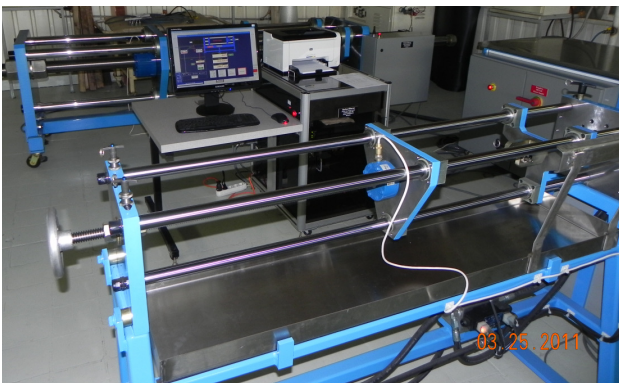


Figura 20. Vederea generală a Sistemului Barker/Diacon S2000, și caracteristicile acestuia

Principalele caracteristici constructive ale sistemului Barker/Diacon S2000 sunt:

- Lungimea maxima (pin-to-pin) → 1219 mm;
- Lungimea minima (pin-to-pin) → 254 mm;
- Viteza minima de deplasare → $v_{\min}=12.7$ mm/min. (în condiții de “drag force”);
- Viteza maxima de deplasare → $v_{\max}=127$ mm/min. (în condiții de “drag force”);
- Viteza de deplasare la $F_{\max}$ → $v_{F,\max}=5.3$ m/min;
- Forța minima de testare → $F_{\min}=4448$ kN;
- Forța maxima de testare → $F_{\max}=57830$ kN;
- Cursa cilindru → $D=400$ mm.

Se poate astfel considera faptul că sistemul de testare Barker/Diacon S2000 permite efectuarea unor probe de casă ale unui amortizor MR în vederea stabilirii parametrilor tehnici și constructivi.

2.4. Studiu efectuat în vederea estimării preliminare a parametrilor funcționali ai unui amortizor cu fluid magneto-reologic (UPT)

Pentru estimarea preliminară a parametrilor funcționali ai amortizorului cu fluid magneto-reologic, s-au realizat următoarele activități de cercetare:

- Proiectarea preliminară a unui set de structuri;
- Estimarea capacității amortizorilor;
- Evaluarea performanței structurilor și respectiv a parametrilor funcționali ai amortizorului.

Din perspectiva etapei de proiectare preliminară, s-a considerat structura de referință din Figura 21ab. Se pot observa un număr de trei etaje (nivele) și un număr de trei deschideri pe cele două direcții (transversală și longitudinală). Înălțimea de nivel este de 3.5 m, iar deschiderea unei traveei este de 7.5 m. În mod simplificat, pentru etapa de proiectare și analiză structurală, a fost considerat un cadru perimetral ilustrat în Figura 21c.

Asupra cadrului din Figura 21c au fost aplicate încărcările corespunzătoare unei jumătăți de traveei, iar prin intermediul unui stâlp lateral (*leaning – column*) s-a ținut seama de masele adiționale ce sunt preluate de cadrul perimetral în situația apariției unui cutremur. Încărcările permanente generate de planșeu au fost considerate în cuantum de 5 kN/m², respectiv 1 kN/m² cele generate de pereții exteriori. În plus, încărcările utile au considerate cu valori de 3.3 kN/m².

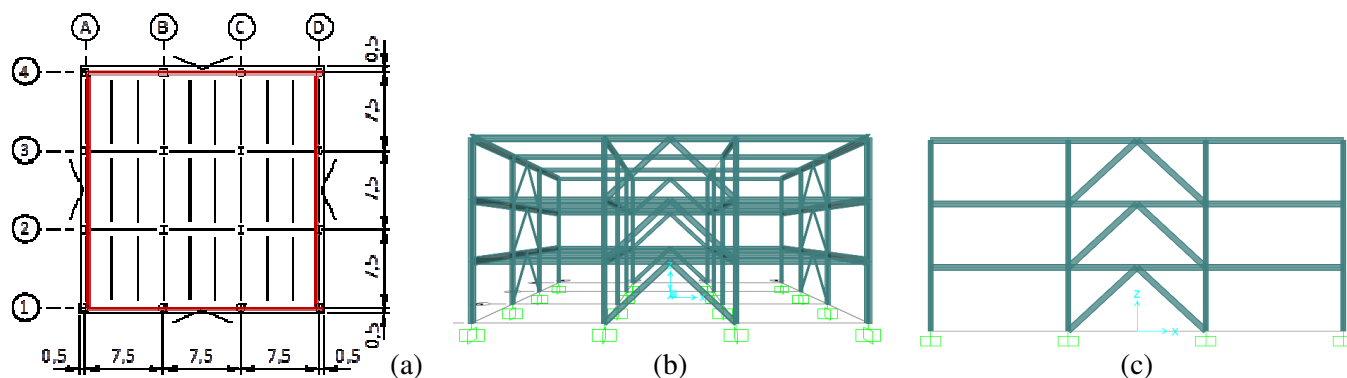


Figura 21. Vederea în plan (a) și vederea 3D (b) a structurii de referință, (c) cadru perimetral considerat în etapa de proiectare și analiză structurală

Acțiunea seismică a fost definită prin intermediul spectrelor de răspuns conform P100-2013 [1]. Astfel, au fost considerate două amplasamente: București (teren moale / $a_g=0.3$), și Timișoara (teren tare / $a_g=0.2$).

În mod particular, pentru fiecare amplasament, au fost proiectate următoarele tipologii de cadre:

- Cadru ne-contravântuit MRF [$q=6.5$] ← pt. care s-a adoptat conceptul de structură disipativă cu un factor de comportare $q=6.5$ și o amortizare $\xi=5\%$;
- Cadru ne-contravântuit MRF [$q=1$, $\xi_{eff}=30\%$] ← pt. care s-a adoptat conceptul de structură ne-disipativă ($q=1$), și o amortizare efectivă $\xi_{eff}=30\%$ (spectru de răspuns elastic redus);
- Cadru ne-contravântuit dotat cu amortizori MRF+D ← pt. care s-a adoptat conceptul de structură ne-disipativă ($q=1$), și o amortizare efectivă de $\xi_{eff}=30\%$ (spectru de răspuns elastic redus);

Figura 22a și Figura 23a prezintă spectrul de proiectare obținut prin afectarea spectrului elastic al amplasamentului (București, și respectiv Timișoara) cu factorul de comportare $q=6.5$. Acestea au fost utilizate la proiectarea cadrelor pe baza conceptului de structură disipativă.

Figura 22b și Figura 23b prezintă spectrele elastice corespunzătoare unei amortizări de 5% și 30%. Este de menționat faptul că cele două spectre corespunzătoare unei amortizări de 30% au fost utilizate la proiectarea cadrelor dotate cu amortizori MRF+D, și a cadrelor cu amortizare echivalentă MRF [$q=1$, $\xi_{eff}=30\%$].

Secțiunile elementelor (grinzi și stâlpi) rezultate din proiectare sunt prezentate pentru teren moale în Figura 22c (cadru MRF [$q=6.5$]), și Figura 22d (cadrele MRF+D și MRF [$q=1$, $\xi_{eff}=30\%$]), respectiv pentru teren tare în Figura 23c (MRF [$q=6.5$]), și Figura 23d (cadrele MRF+D și MRF [$q=1$, $\xi_{eff}=30\%$]).

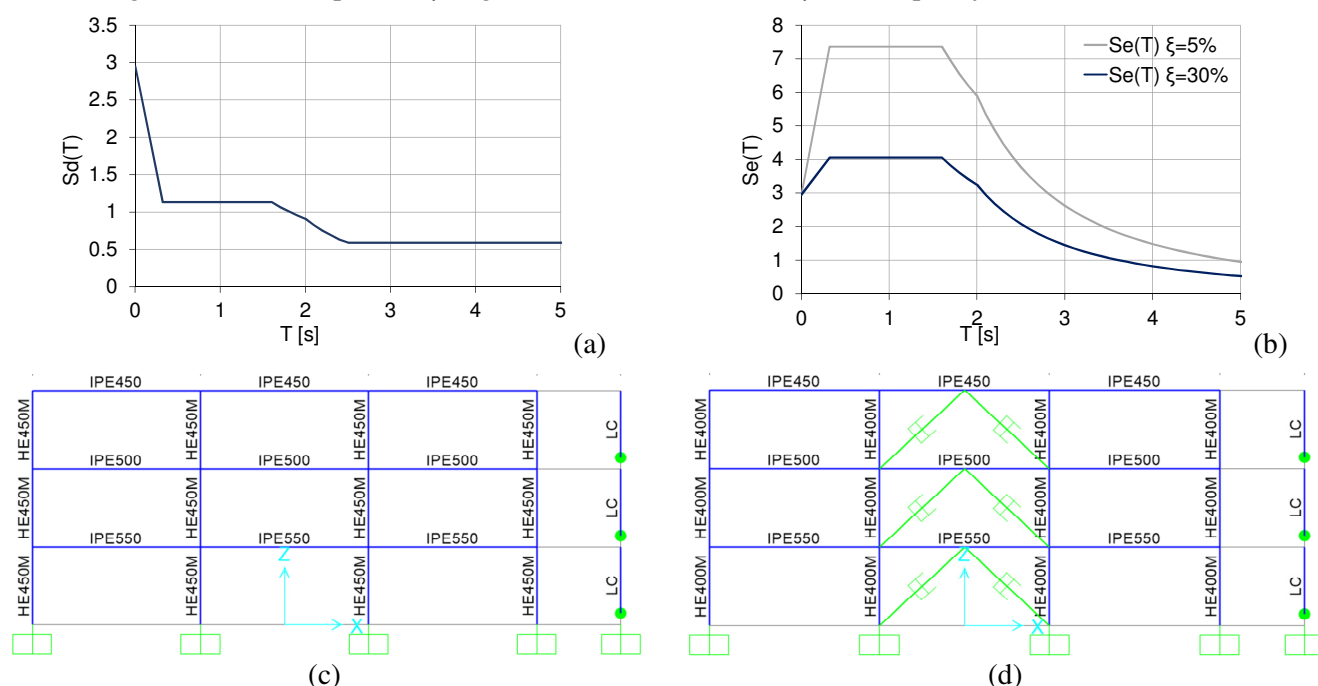


Figura 22. Spectrul de proiectare (a), și spectrul elastic pentru o amortizare de 5% și 30% (b); Secțiunea elementelor rezultate pentru cadrul MRF [$q=6.5$] (c), respectiv pentru cadrele MRF+D și MRF [$q=1$, $\xi_{eff}=30\%$] (d) – Amplasament București

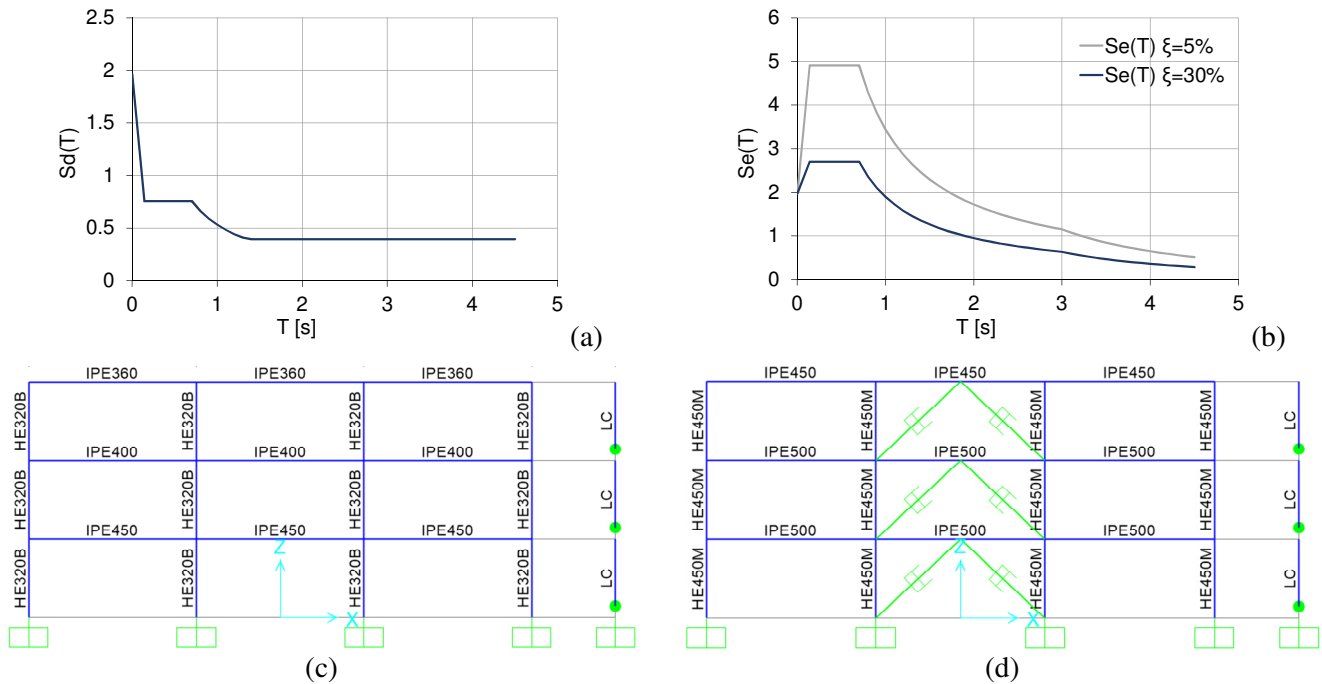


Figura 23. Spectrul de proiectare (a), și spectrul elastic pentru o amortizare de 5% și 30% (b); Secțiunea elementelor rezultate pentru cadrul MRF [$q=6.5$] (c), respectiv pentru cadrele MRF+D și MRF [$q=1$, $\xi_{\text{eff}}=30\%$] (d) – Amplasament Timișoara

Este de menționat faptul că proiectarea cadrelor ne-contravântuite ($q=6.5 \leftarrow$ structură disipativă) s-a realizat din condiții de limitare a deplasărilor relative de nivel. În contrast, proiectarea cadrelor cu amortizori / amortizare echivalentă s-a realizat din condiții de rezistență.

Din perspectiva estimării capacității amortizorilor, considerând structura de referință prezentată anterior, cadrul perimetral, masele aferente, și spectrele corespunzătoare celor două amplasamente, s-au utilizat prevederile din standardul FEMA 356 [16] pentru sistemele cu disipare pasivă, însă este necesară o eventuală validare / comparație între relațiile analitice și caracteristicile amortizorului ce urmează a fi proiectat și încercat experimental în cadrul proiectului, respectiv comparația cu rezultatele analizelor efectuate asupra cadrelor.

Din perspectiva etapei de evaluare a performanței structurilor și respectiv a parametrilor funcționali ai amortizorului, au fost realizat un număr semnificativ de analize structurale. Tabelul 2 prezintă pentru cele două amplasamente (Timișoara și București) configurațiile de cadre analizate, astfel: cadre ne-contravântuite disipative ($q=6.5$), cadre ne-contravântuite având diferite valori ale amortizării efective (Reighley), cadre ne-contravântuite dotate cu amortizori.

Tabelul 2. Structuri analizate

Amplasament – Timișoara	Amplasament – București
• Cadru ne-contravântuit (MRF) $\leftarrow$ concept disipativ ($q=6.5$); • Cadru ne-contravântuit (MRF) $\leftarrow$ concept ne-disipativ ($q=1$) și amortizare efectivă de $\xi_{\text{eff}} = 5\% \dots 10\% \dots 15\%$ (specificată în programul de analiză); • Cadru ne-contravântuit dotat cu amortizori: ○ MRF+D_I $\leftarrow$ amortizorii au capacitatea de 10t și sunt dispuși doar în deschiderea centrală (vezi Figura 24a); ○ MRF+D_II $\leftarrow$ amortizorii au capacitatea de 10t și sunt dispuși în cele două deschideri marginale (vezi Figura 24b);	• Cadru ne-contravântuit (MRF) $\leftarrow$ concept disipativ ($q=6.5$); • Cadru ne-contravântuit (MRF) $\leftarrow$ concept ne-disipativ ($q=1$) și amortizare efectivă de $\xi_{\text{eff}} = 5\% \dots 10\% \dots 15\%$ (specificată în programul de analiză); • Cadru ne-contravântuit dotat cu amortizori: ○ MRF+D_II $\leftarrow$ amortizorii au capacitatea de 10t și sunt dispuși în cele două deschideri marginale (vezi Figura 24b); ○ MRF+D_II2 $\leftarrow$ amortizorii au capacitatea de 20t și sunt dispuși în cele două deschideri marginale (Figura 24b);

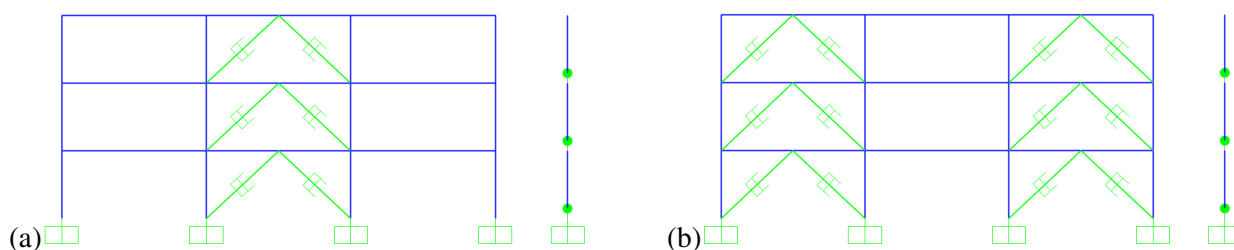


Figura 24. Modul de dispunere al amortizorilor: (a) cadru MRF+D_I cu amortizori dispuși în deschiderea centrală, (b) cadru MRF+D_II cu amortizori dispuși în deschiderile marginale

Proiectarea și analiza structurală a fost realizată cu programul SAP2000 [24]. Modelarea amortizorilor a fost realizată prin intermediul elementelor de tip “link” la care s-au specificat un set de proprietăți (coeficientul de amortizare “C”, factorul de putere al vitezei “n”) caracteristice amortizorilor de tip “damper-exponential”. Comparativ cu rezultatele din literatura de specialitate [25] [26] și Secțiunea 2.3.2 (Figura 13), s-a observat o bună corelare între modelul de amortizor adoptat și răspunsul unor amortizori (cu fluide vâscoase, și respectiv cu fluide magneto-reologice) obținut din încercări experimentale. Figura 25 prezintă curba forță-viteză folosită pentru amortizorul cu o capacitate de 10 tone, și respectiv 20 tone.

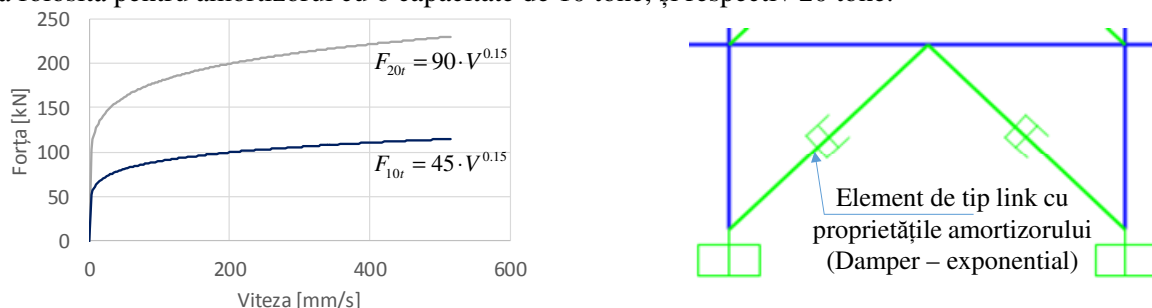


Figura 25. Relația forță-viteză (amortizor de 10t și 20t), elementele de tip link → amortizor

Pentru evaluarea parametrilor funcționali ai amortizorului, s-au efectuat analize de tip “time-history” asupra structurilor din Tabelul 2, considerând un număr de 7 accelerograme artificiale (vezi Figura 26, și Secțiunea 2.1 / Figura 2) pentru fiecare din cele două locații: Timișoara și București.

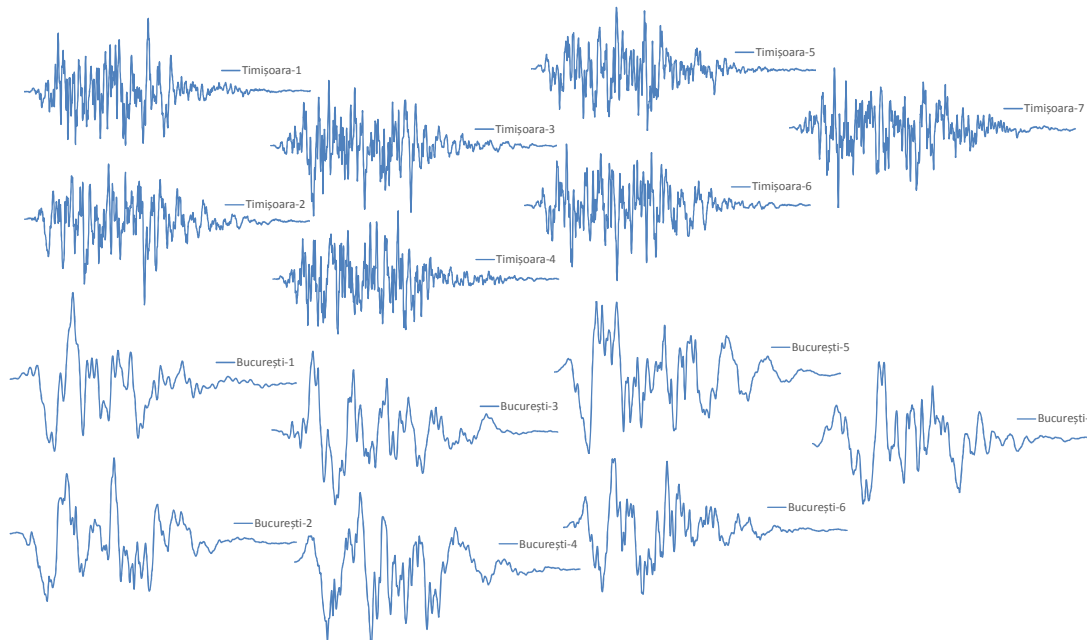


Figura 26. Setul de 7 accelerograme corespunzător terenului tare (Timișoara), respectiv moale (București)

În urma analizelor s-au putut determina performanțele / răspunsul structurilor. Astfel, Figura 26 prezintă răspunsul structurii “MRF+D I_T-A1” sub acțiunea accelerogramei Timișoara-1, în mod particular deplasarea la vârful structurii, respectiv curba forță-viteză și curba forță-deformație corespunzătoare unui amortizor de la nivelul 3. Aceleași informații sunt prezentate în Figura 28 corespunzător structurii “MRF+D II_B-A1” sub acțiunea accelerogramei București-1.

În Figura 27bc și Figura 28bc se poate observa faptul că răspunsul amortizorilor (relația forță-viteză și forță-deplasare) reflectă în bună măsură modul de comportare al unui amortizor cu fluide magneeto-reologice, respectiv cu fluide vâscoase.

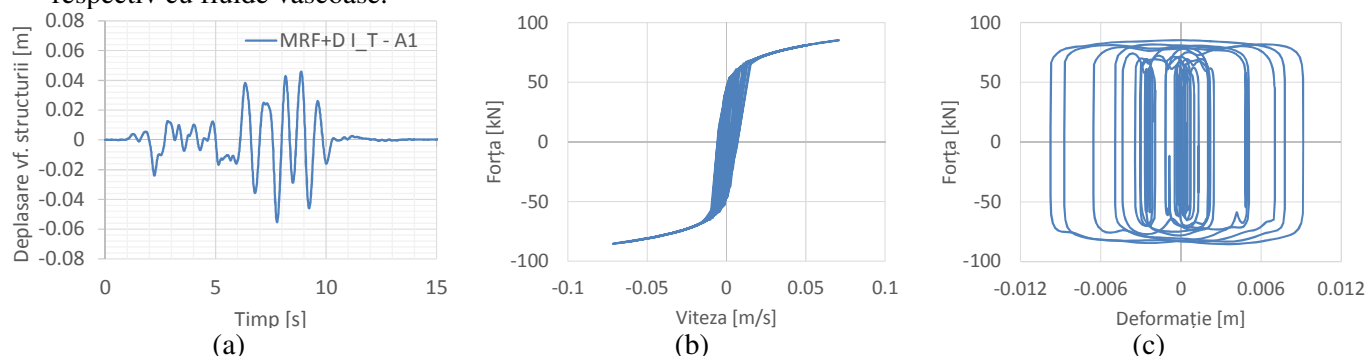


Figura 27. Răspunsul structurii MRF+D I_T-A1: deplasarea la vârful structurii (a), respectiv curba forță-viteză (b) și curba forță-deformație (c) corespunzătoare unui amortizor de la nivelul 3

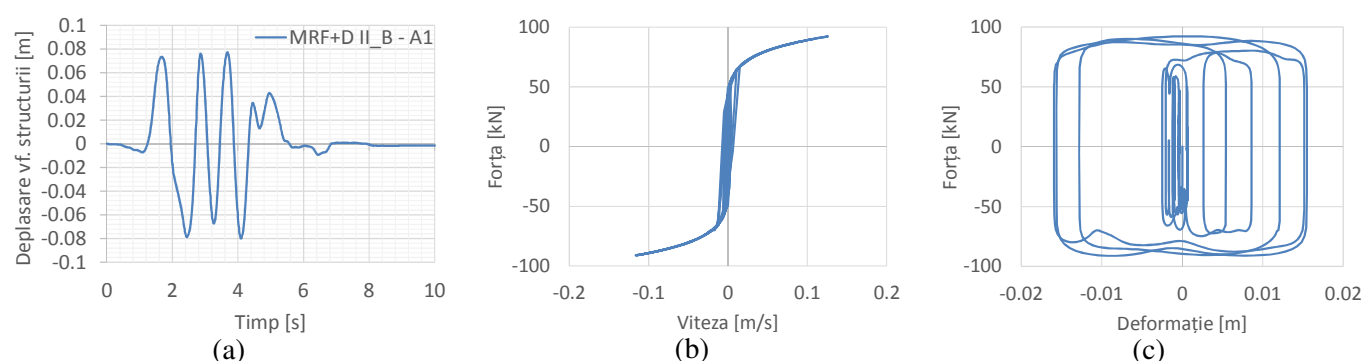


Figura 28. Răspunsul structurii MRF+D II_B-A1: deplasarea la vârful structurii (a), respectiv curba forță-viteză (b) și curba forță-deformație (c) corespunzătoare unui amortizor de la nivelul 3

În Figura 29 și Figura 30 se arată influența conceptului de proiectare al unei structuri (teren tare, respectiv moale). Astfel, se pot observa reduceri semnificative ale deplasării la ultimul nivel corespunzător cadrelor proiectate pe baza conceptului de structură ne-disipativă și în plus dotate cu amortizori (D I $\rightarrow$ în deschiderea centrală, D II $\rightarrow$ în cele două deschideri marginale).

În Figura 31a și Figura 32a se prezintă modul în care a fost determinat nivelul de amortizare al cadrului MRF+D I_T (teren tare) și respectiv a cadrului MRF+D II_B (teren moale). Astfel, s-a comparat deplasarea de la ultimul nivel al acestor cadre cu răspunsul cadrelor echivalente (având aceleași secțiuni de elemente) și fără amortizori dar la care a fost specificată o amortizare efectivă (Reighley) în cuantum de 10% și respectiv 15%. S-a observat în medie (corespunzător celor 7 accelerograme) un nivel al amortizării de aproximativ 12.5%, atât pentru cadrul MRF+D I_T (teren tare) cât și pentru MRF+D II_B (teren moale). În consecință, s-a obținut un nivel de amortizare de aproximativ 25% prin dublarea numărului de amortizori, respectiv dublarea capacității amortizorilor (de la 10t la 20t). Comparăția, în termeni de deplasare la nivelul superior al structurii, dintre cadrul cu nivelul de amortizare de 25% și cadrul echivalent la care s-a specificat o amortizare efectivă de 5%, este prezentată în Figura 31b pentru teren tare, și în Figura 32b pentru teren moale. Se pot observa în ambele cazuri reduceri semnificative ale deplasărilor.

Parametrii funcționali ai amortizorilor au fost determinați pe baza analizelor “time-history” considerând cele două tipuri de terenuri (tare și moale), și nivelul de amortizare (12.5% și 25% $\leftarrow$ dat de numărul de amortizori, respectiv de capacitatea acestora). În mod particular s-a dorit aflarea valorilor maxime (negative și pozitive) ale deformației, forței și a vitezei din amortizori pentru fiecare accelerogramă în parte.

În Tabelul 3 și Tabelul 4 se prezintă valorile maxime (-/+) ale parametrilor pentru amortizorii din cadrul MRF+D I_T ($\xi=12.5\%$), respectiv din cadrul MRF+D II_T ($\xi=25\%$). După cum se poate observa, unei amortizări mai mici îi corespund valori mai mari ale deformației, forței și vitezei (vezi Tabelul 3). Astfel, amplitudinea maximă a celor trei parametri a fost: 18 mm, 9.67 tf, 164 mm/s.

În Tabelul 5 și Tabelul 6 se prezintă valorile maxime (-/+) ale parametrilor pentru amortizorii din cadrul MRF+D II_B ($\xi=12.5\%$), respectiv din cadrul MRF+D II2_B ($\xi=25\%$). După cum se poate observa, și în acest caz, unei amortizări mai mici îi corespund valori mai mari ale deformației și vitezei (vezi Tabelul 5).

Este de menționat faptul că al doilea tip de cadru are amortizori cu o capacitate dublă (20t), îngreunând astfel compararea directă. Amplitudinea maximă a deformației și a vitezei a fost de 41 mm, respectiv 294 mm/s.

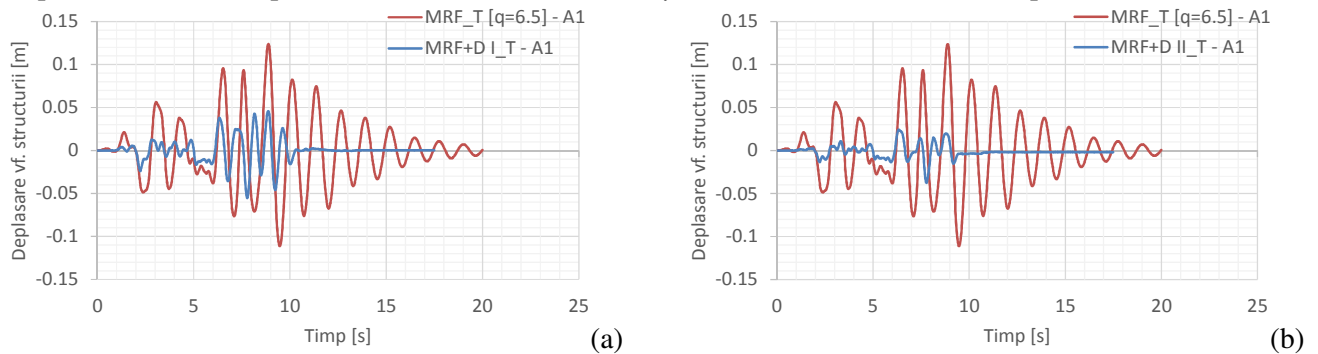


Figura 29. Influența conceptului de proiectare al unei structuri (disipativ vs. ne-disipativ plus amortizori) → MRF [q=6.5] vs. (a) MRF+D_I, și (b) MRF+D_II → teren tare (Timișoara)

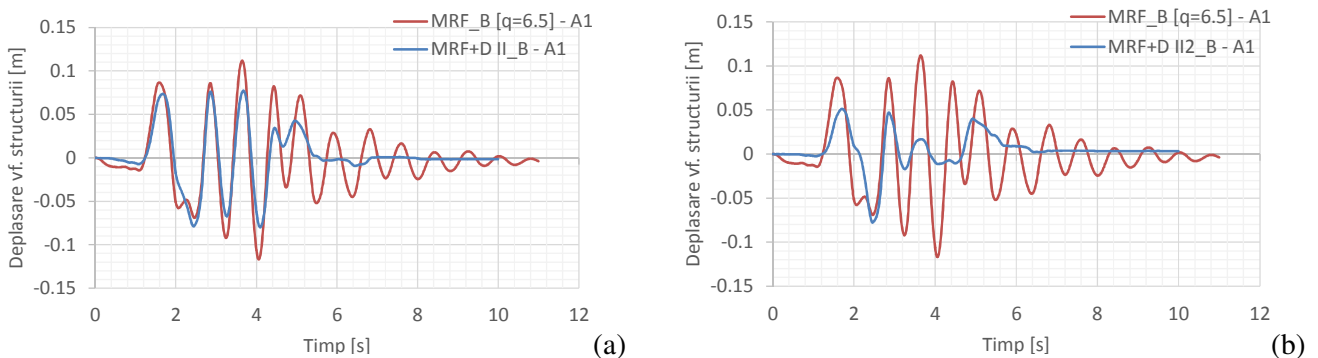


Figura 30. Influența conceptului de proiectare al unei structuri (disipativ vs. ne-disipativ plus amortizori) → MRF [q=6.5] vs. (a) MRF+D_II, și (b) MRF+D_II2 → teren moale (București)

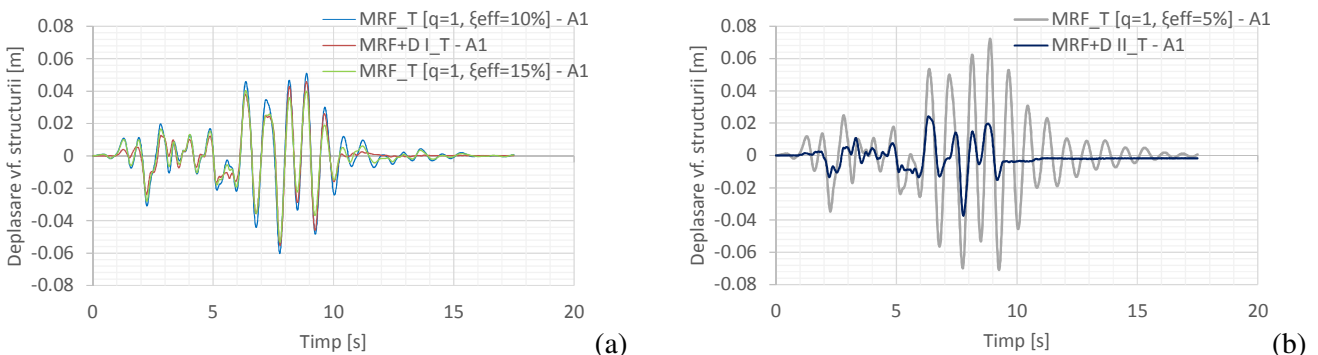


Figura 31. (a) Determinarea amortizării cadrului MRF+D_I (amortizori de 10t dispuși în deschiderea centrală → $\xi=12.5\%$), (b) influența amortizării de 25% a cadrului MRF+D_II (număr dublu de amortizori de 10t dispuși în deschiderile marginale) → teren tare (Timișoara)

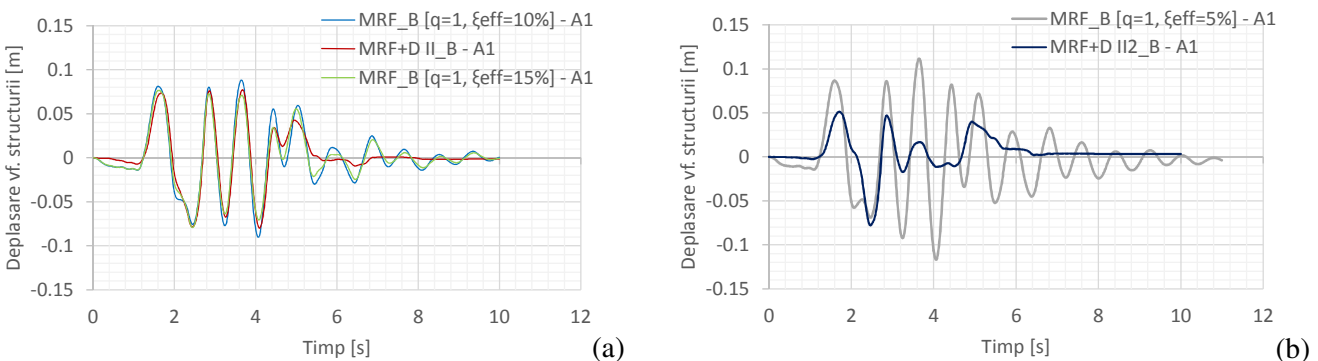


Figura 32. (a) Determinarea amortizării cadrului MRF+D_II (amortizori de 10t dispuși în deschiderile marginale → $\xi=12.5\%$), (b) influența amortizării de 25% a cadrului MRF+D_II2 (aceiași număr de amortizori dar cu o capacitate dublă 20t) → teren moale (București)

Tabelul 3. Parametrii funcționali ai amortizorului de 10t (cadrul MRF+D I_Timișoara)

Accelerograma	1	2	3	4	5	6	7	Valori maxime
Deformația [m]	-0.016	-0.013	-0.014	-0.013	-0.017	-0.013	-0.015	-0.017
	0.014	0.014	0.015	0.016	0.013	0.018	0.013	0.018
Forța [kN]	-94.086	-91.580	-95.753	-94.215	-92.136	-94.114	-92.512	-95.75
	91.427	94.173	96.171	93.663	91.084	96.718	93.348	96.72
Viteza [m/s]	-0.136	-0.114	-0.153	-0.138	-0.119	-0.137	-0.122	-0.153
	0.113	0.137	0.158	0.132	0.110	0.164	0.129	0.164

Tabelul 4. Parametrii funcționali ai amortizorului de 10t (cadrul MRF+D II_Timișoara)

Accelerograma	1	2	3	4	5	6	7	Valori maxime
Deformația [m]	-0.011	-0.005	-0.006	-0.008	-0.009	-0.005	-0.009	-0.011
	0.007	0.010	0.009	0.007	0.009	0.010	0.007	0.010
Forța [kN]	-89.331	-89.373	-87.674	-85.878	-86.235	-83.853	-86.051	-89.37
	82.825	89.359	89.200	88.745	85.463	89.586	89.101	89.58
Viteza [m/s]	-0.101	-0.101	-0.088	-0.077	-0.080	-0.066	-0.078	-0.101
	0.060	0.100	0.099	0.096	0.074	0.102	0.098	0.102

Tabelul 5. Parametrii funcționali ai amortizorului de 10t (cadrul MRF+D II_București)

Accelerograma	1	2	3	4	5	6	7	Valori maxime
Deformația [m]	-0.023	-0.028	-0.025	-0.031	-0.035	-0.029	-0.041	-0.041
	0.022	0.024	0.028	0.028	0.021	0.023	0.022	0.028
Forța [kN]	-100.1	-98.8	-94.2	-101.0	-102.4	-96.5	-99.6	-102.4
	100.0	101.0	102.6	103.4	98.2	99.1	104.9	104.9
Viteza [m/s]	-0.217	-0.199	-0.141	-0.225	-0.247	-0.165	-0.205	-0.247
	0.210	0.228	0.249	0.267	0.190	0.198	0.294	0.294

Tabelul 6. Parametrii funcționali ai amortizorului de 20t (cadrul MRF+D II2_București)

Accelerograma	1	2	3	4	5	6	7	Valori maxime
Deformația [m]	-0.022	-0.019	-0.018	-0.014	-0.021	-0.018	-0.028	-0.028
	0.015	0.011	0.015	0.017	0.015	0.010	0.013	0.017
Forța [kN]	-181.2	-184.3	-184.9	-188.6	-195.3	-183.2	-194.9	-195.3
	196.7	189.6	193.2	186.9	183.3	176.0	198.7	198.7
Viteza [m/s]	-0.108	-0.125	-0.124	-0.144	-0.183	-0.119	-0.180	-0.183
	0.191	0.150	0.170	0.134	0.119	0.091	0.206	0.206

3. Concluzii

În studiul curent s-a pus la punct procedura de calibrare a parametrilor funcționali pentru tema de proiectare a amortizorului și respectiv a fluidului magneto-reologic. Totodată s-a identificat nivelul de dependență a acestor parametrii în relație cu natura mișcării seismice. Au fost considerate două amplasamente, Timișoara cu un teren tare, și București cu un teren moale, pentru care au fost generate un set de câte 7 accelerograme artificiale scalate pe spectrul de răspuns elastic al amplasamentului.

Etapa a II/2015 a proiectului cuprinde următoarele obiective principale:

- Dezvoltarea unor nano-micro fluide magneto-reologice compatibile cu amortizorii anti-seismici;
- Proiectarea și fabricarea unui amortizor MR prototip, de capacitate 10 t;
- Evaluarea și validarea prototipului prin testare conform *EN 15129-2009: Dispozitive anti-seismice*;
- Proiectarea, fabricarea, testarea și modelarea numerică a unui sistem hibrid contravântuire cu flambaj împiedicat – amortizor; calibrarea unui model numeric capabil să simuleze comportarea amortizorului;

Sinteza prezentată în Secțiunea 2.3 relevă experiența și calificarea partenerilor pentru realizarea obiectivelor Etapei II/2015. Astfel, colectivele partenerilor **AR-FT** și **UPT** vor face investigațiile magnetice, reologice și magneto-reologice în vederea optimizării caracteristicilor acestor fluide MR, pentru ca răspunsul MR în timp real să corespundă cerințelor dispozitivelor de protecție seismică. Partenerul **ROSEAL SA** dispune de tehnologia necesară producerii unor cantități importante de fluide MR pe bază de ferrofluid, variind în limite largi parametrii de compoziție. Partenerul **IMS-AR** dispune de cunoștințele necesare proiectării amortizorului MR, iar **TITAN SA** dispune de tehnologia necesară fabricării amortizorului, respectiv de dotarea necesară pentru efectuarea testelor în fabrică asupra amortizorului pentru stabilirea parametrilor tehnici și constructivi. În plus, **UPT** dispune de experiența necesară pentru investigarea și validarea

amortizorului, respectiv a sistemului hibrid contravântuire + amortizor, dar și pentru testarea numerică a sistemelor de amortizare cuplate în structură.

Din perspectiva activităților de coordonare, raportare și diseminare – în cadrul Etapei I/2014 a fost organizată o ședință de lucru a proiectului (24 Octombrie), au fost întreprinse activități pentru elaborarea raportului financiar și tehnic, și a fost realizată o pagină web dedicată proiectului SEMNAL-MRD (<http://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/semnal-mrd.htm>). De asemenea, a fost prezentat proiectul (scop și obiective, parteneriat, activități de cercetare, și rezultate obținute) în cadrul ședinței de lucru a comisiei de inginerie seismică ECCS TC13 (Seismic Design) ce a avut loc în 7 Noiembrie la Timișoara.

4. Referințe

- [1] P100-1/2013 “Cod de proiectare seismică: Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri”.
- [2] Buckle I.G., Passive control of structures for seismic loads, 12WCEE (2000). P 2825.
- [3] Soong T.T., Spencer B.F., Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice. Journal of Engineering Structures 24, (2002) 243–259.
- [4] PROHITECH, WP6 Report, Set-up of Advanced Reversible Mixed Technologies for Seismic Protection, Faculty of civil and geodetic engineering, Slovenia.
- [5] Kelly T.E., Design Guidelines: In-Structure Damping and Energy Dissipation, Holmes Consulting Group, July 2001.
- [6] FEMA 1997: NEHRP Commentary on: Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Rep. 274, Washington D.C.
- [7] Mandara A., Smart Technologies in the Seismic Protection of Existing Buildings – Part 2: Applications, International Symposium, Cost Action C26 “Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events”, Malta, 23-25 October 2008.
- [8] Driver R.G., Kulak G.L., Kennedy D.J.L., Elwi A.E., Cyclic Test of a Four Storey Steel Plate Shear Wall, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.124, No.2, p.112–120, 1998.
- [9] Neagu C., Multi-storey building frames stiffened with dissipative shear walls, PHD Thesis, Ed. Politehnica, pp 193, University Politehnica Timisoara, Romania, 2011.
- [10] Dubina D., Dinu F., Experimental evaluation of dual frame structures with thin-walled, steel panels, Thin-walled structures, vol. 78, Pages 57–69, 2014 (impact factor 1.432)
- [11] Dubina D., Bordea S., Experimental Investigation of Non-Seismic RC Frames Strengthened with BRB Steel Braces, Proc. of the International Symposium “Steel Structures: Culture & Sustainability 2010”, 21-23 September 2010, Istanbul, Turkey, Ed. N. Yardimci, A. Aydoner, Y. Gur’es, C. Yorgun, ISBN: 978-975-92461-2-9, pg. 235-244.
- [12] Dubina D., Bordea S., Numerical and experimental evaluation of q factor for RC MRF strengthened with steel BRB, COST Action Final Conference – Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, CRC Press, A Balkema Book, 16-18 September 2010, Naples, Italy, Ed. F. Mazzolani, ISBN 978-0-415-60685-1, pg. 801-807.
- [13] Filip-Văcărescu N., Stratan A., Dubină D., Experimental validation of a strain hardening friction damper, Proceedings of the Romanian Academy, Series A, Volume 15, Number 1/2014, pp. 60–67.
- [14] Filip-Văcărescu N., Stratan A., Dubină D., Seismic performance of multistorey steel frames with strain hardening friction dampers, Proceedings of the Romanian Academy, Series A, Volume 15, Number 2/2014, pp. 174–181.
- [15] SR EN 1998-1, Eurocod 8: Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur – Partea 1: Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri. Asociația de Standardizare din România (ASRO), Mai 2006.
- [16] FEMA 356, (2000) “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, Washington DC, Nov. 2000.
- [17] Goncalves F.D., Koo J-H., Ahmadian M., A review of the state of the art in magnetorheological fluid technologies – Part I: MR fluid and MR fluid models, The Shock and Vibration Digest, vol.38 (2006)203-219.
- [18] Vicente J., Klingenberg D.J., Hidalgo-Álvarez R., Magnetorheological Fluids: A Review, Soft Matter 7 (2011) 3701-3710.
- [19] Bossis G., Volkova O., Lacis S., Meunier A., Magnetorheology: Fluids, Structures & Rheology, Odenbach S. (Ed) Ferrofluids. Magnetically controllable fluids and their applications (Lecture Notes in Physics; 594; Springer 2002) pp. 202-230.
- [20] Susan-Resiga D., Bica D., Vékás L., Flow behaviour of extremely bidisperse magnetizable fluids, J. Magn. Magn. Mater, 322 (2010) 3166-3172.
- [21] López-López M.T., Kuzhir P., Lacis S., Bossis G., González-Caballero F., Durán J.D.G., Magnetorheology for suspensions of solid particles dispersed in ferrofluids, J. Phys.: Condens. Matter, 18 (2006) S2803-S2813.
- [22] Borbáth T., Borbáth I., Günther S., Marinica O., Vékás L., Odenbach S., Smart Materials and Structures, 2014.
- [23] Susan-Resiga D., Vekas L., Yield stress and flow behavior of concentrated ferrofluid based magnetorheological fluids: the influence of composition, Rheological Acta, 53 (2014) 645-653.
- [24] CSI (2008), Computer program SAP2000 – Berkeley University – California – USA – version 14.0.0, June 2008.
- [25] Infanti S., Castellano G., Viscous Dampers: A Testing Investigation According to the HITEC Protocol, Proceedings of the 5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures, Rome, Italy, 7-11 October 2001.
- [26] Chae Y., "Seismic Hazard Mitigation of Building Structures Using Magneto-Rheological Dampers" (2011). Theses and Dissertations. Paper 1306.