

**Anexa nr. 10 la Contract nr. 31N/2019**

**Contractor: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pamantului**

**Cod fiscal : 5495458** (anexa la procesul verbal de avizare interna nr. ....)

**De acord,  
DIRECTOR GENERAL**

**Dr. Ing. Constantin Ionescu**

**Avizat,  
DIRECTOR DE PROGRAM**

**Dr. Mircea Radulian**

## **RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI**

**Contractul nr.: 31N/2019**

**Proiectul: PN 19080102 Cercetari avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei in contextul interactiunii multiple litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera**

**Faza 18: Posibilități de micșorare a riscului seismic pe amplasamente prezente și viitoare – în contextul seismicității teritoriului României.**

**Termen de incheiere a Fazei: 30.08.2022**

### 1.Obiectivul proiectului

Proiectul „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocari in intelegerea dinamicii Pamantului” propune o investigatie multidisciplinara, complexă si intercorelata a fenomenelor care au loc în sistemul cuplat Litosfera-Hidrosfera-Atmosfera-Ionosfera, pentru modelarea fenomenelor tectonice si a proceselor seismice si identificarea relatiei spatio-temporale dintre structura geologica, tensiunile crustale, potentialul seismogen, în scopul descifrării conexiunilor complexe dintre fenomenele tectonice si efectele lor asupra campurilor geofizice masurabile la suprafata Pamantului. Proiectul urmareste totodata si modelele de propagare ale undelor seismice si estimarea efectelor acestora la suprafata Pamantului, prin calcularea/masurarea deformatiilor crustei si a interactiunii sol-structuri construite in scopul evaluarii hazardului si reducerii riscului la cutremur, dar si a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Acest proiect va aborda fenomenul seismic in interconexiune cu fenomenele generate de sistemele litosfera, hidrosfera, atmosfera si ionosfera in scopul diminuarii riscului, tinand cont de noile metode si procedee aplicabile la aceste sisteme cuplate, incercand sa raspunda provocarilor complexe de natura stiintifica si practica pe care dinamica Pamantului le ridica, in vederea cresterii rezilientei la cutremure.

**Obiectivul O6 (Directia de cercetare D1) al Proiectului, “Seismologie inginerească urbană - integrarea datelor de la accelerometre pentru reducerea riscului seismic ”** propune o investigație multidisciplinară, ( seismologie și inginerie seismic) privind monitorizarea clădirilor la seisme și analiza oportunității izolării seismice pe teritoriul României, pentru aceasta avându-se în vedere următoarele obiective :

## 2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Dezvoltarea cercetarilor avansate privind evaluarea cu metode specific seismologice, geotehnice, fizice si matematice a factorilor care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei pentru a asigura cresterea rezilientei societatii umane la cutremure. Se vor dezvolta modele de propagare ale undelor seismice si estima efectele acestora la suprafata Pamantului prin calcularea/masurarea deformatiilor si deplasarilor crustei si a interactiunii sol-structuri construite, in scopul evaluarii hazardului si reducerii riscului la cutremur, dar si a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Din analiza înregistrărilor de mișcări puternice ale cutremurelor vrâncene de magnitudine moderată și mare se va investiga variabilitatea observata în distribuțiile spațiale ale mișcării seismice a terenului. Se va implementa o noua metodologie prin abordari noi de evaluare a hazardului seismic folosind factorii neliniari de amplificare spectrală, în funcție de magnitudinea cutremurului și de condițiile locale ale amplasamentului seismic. Se vor realiza hărți de expunere și vulnerabilitate seismică, precum și cu estimări de pagube pentru scenarii seismice reprezentative. Îmbunătățirea capabilităților de estimare a pagubelor directe și indirecte generate de cutremure în România se va realiza în tip aproape real și pentru scenarii reprezentative. Calculul parametrilor sursei tip falie, estimarea activității seismice se vor realiza prin parametrizari stohastice a evenimentelor seismice cu implementarea de tehnici TMS (timp, magnitudine, spatiu). Identificarea și ierarhizarea parametrilor de interes ingineresc se va face în funcție de gradul influenței seismului asupra integrității clădirii. Se vor propune norme metodologice coerente de monitorizare a stării de sănătate și integritate a construcțiilor. De asemenea se are în vedere dezvoltarea cercetarilor complexe privind interacțiunile multiple din sistemul complex litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera în scopul identificării corelațiilor între fenomenele ce au loc în focarul cutremurelor de Pamant și semnăturile acestor fenomene la suprafata Pamantului, în Atmosfera și în stratele inferioare ale ionosferei. Se vor realiza analize multiparametrice și multi-statie a campurilor geofizice cu potential precursor seismic avandu-se în vedere standardizarea datelor în vederea asigurării calitatii. Printre rezultatele cercetarilor se vor regăsi și hărți geologice și hărți geo-tectonice pentru zonele studiate, hărți macroseismice pentru cutremurele recente cu  $M > 5.0$  și microzonarea în intensități a unor orașe din zona extracarpatica.

Seismologia inginerească urbană este o mai veche preocupare în cadrul Institutului Național de C-D pentru Fizica Pământului, acest domeniu a fost dezvoltat și este o prioritate și în prezent deoarece prin prăbușirea construcțiilor civile și industriale se produc numeroase victime în rândul populației și imense pagube materiale. În cadrul institutului prin Rețeaua Seismică Națională, în secolul XXI, avem înregistrări seismice în marile orașe din afara arcului Carpatic unde cutremurele Vrâncene fac multe pagube, dacă luăm în considerare numai cele două seisme majore din secolul XX: 10.11.1940 ( Mw 7.7, aproximativ 600 de morți și prăbușirea celei mai înalte clădiri de beton armat din capitală de la aceea vreme, Blocul Carlton) și 4.03.1977 (Mw 7.4, 1500 de morți și 25 de blocuri de locuințe prăbușite numai în București). Concluzia care s-a tras din experiența seismelor din România din sec. XX a fost că trebuie să avem cât mai multe date despre aceste mișcări seismice, astfel luând o dezvoltare puternică Rețeaua Seismică Națională. În orașul București în prezent fiind o rețea de 6 stații echipate cu senzori de viteză de scurta perioadă și senzor de accelerație și 24 de stații echipate numai cu senzor de accelerație care transmit în timp

real. Dar nu este suficient numai să avem o bază de date cu înregistrări, acestea trebuie folosite prin integrarea acestor date în analize, studii și coduri pentru micșorarea riscului seismic din localități. Rezultatul acestui studiu va fi exemplificarea unor modalități practice de folosire a datelor de la accelerometrele din orașe pentru a crea un mediu urban mai puțin vulnerabil la seismele puternice.

3. Obiectivul fazei 18 consta în implementarea și stabilirea performanțelor metodei izolării seismice.

Atingerea acestui obiectiv s-a realizat prin intermediul următoarelor etape:

I) Nominalizarea tipurilor de izolatori seismici optimi pentru seismele Vrâncene puternice;

II) Exemplificarea mentenanței unui obiectiv izolat seismic pentru a-și menține caracteristicile funcționale în limitele în care a fost proiectat și în timp (zeci de ani);

III) Protejarea clădirilor de patrimoniu și monumentelor istorice prin acest demers de creștere a rezilienței la acțiuni seismice puternice, prin posibile izolări a acestora.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- Enumerarea și discutarea principiilor de funcționare a celor mai importante/folosite cu precădere sisteme de izolare seismică, care pot fi aplicate și pe teritoriul României;
- Considerarea avantajelor și dezavantajelor fiecărui sistem de izolare seismică funcție de caracteristici tehnice, costuri, etc.;
- Posibilitatea alegerii celui mai eficient sistem de izolare seismică, potrivit unei anumite structuri existente sau viitoare;
- Importanța cunoașterii unei mentenanțe corecte și continue în timp, perioada de viață a unui sistem de izolare seismică întinzându-se pe întreaga viață a construcției (zeci de ani);
- Folosirea în continuare a sistemelor de izolare seismică la clădiri de patrimoniu, văzând experiența pozitivă de până acum în domeniu cu clădirile izolate seismic din București.

5. Rezumatul fazei:

**I) Nominalizarea tipurilor de izolatori seismici optimi pentru seismele Vrâncene puternice;**

**1. Sisteme de izolare - Principii de funcționare**

Există o mare varietate de dispozitive de izolare concepute sau chiar folosite în ultimii 20 de ani în țări ca USA, Japonia, Marea Britanie, Italia, Franța, Noua Zeelanda și țări din fosta Uniune Sovietică.

Scopul principal al acestor sisteme de izolare este acela de a conferi ansamblului structural o flexibilitate orizontală însoțită de o suficientă capacitate de disipare. De asemenea, toate aceste sisteme trebuie să aibă și o suficientă rigiditate verticală necesară preluării sarcinilor gravitaționale.

Realizarea acestor deziderate a fost asigurată în mod diferit la diversele tipuri de izolatori seismici. Principalele tipuri de izolatori, utilizați sau cu șanse de utilizare, vor fi prezentați în continuare, fără a intra în detalii constructive ci expunând numai principiul de funcționare.

## 1.1 Izolatori prin frecare

Sunt dispozitive simple bazate pe decuplare și pe disiparea energiei prin frecare în zone care separă structura de teren. Un exemplu îl poate constitui amplasarea sub construcții ușoare a unui strat de pietriș cu nisip, metodă aplicată în China cu rezultate bune. Fig. I.1

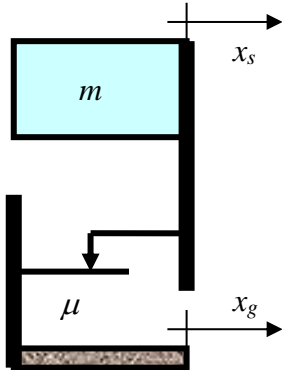


Fig. I.1 Izolator prin frecare

Comportarea mecanică a sistemului cu frecare depinde de coeficientul de frecare  $\mu$ , care la rândul său este dependent de forța de apăsare dată de greutatea structurii ca și de rugozitatea suprafeței de contact (Fig. I.1).

Sistemul cu frecare nu are o forță capabilă de a readuce structura în poziția inițială după încetarea evenimentului seismic (forță de revenire). Din acest motiv izolatorii prin frecare pot fi folosiți numai în combinație cu dispozitive care să asigure forța de revenire.

## 1.2 Fundații cinematice

Aceste sisteme preconizează decuplarea prin amplasarea între structură și fundație a unor role metalice (cilindrice sau elipsoidale) care să permită deplasarea structurii în raport cu fundația. În timpul cutremurului deplasarea terenului antrenează deplasarea structurii numai datorită frecărilor pe role. Cum asemenea frecări sunt importante numai o parte din energia seismică ajunge la structură. (Fig. I.2).

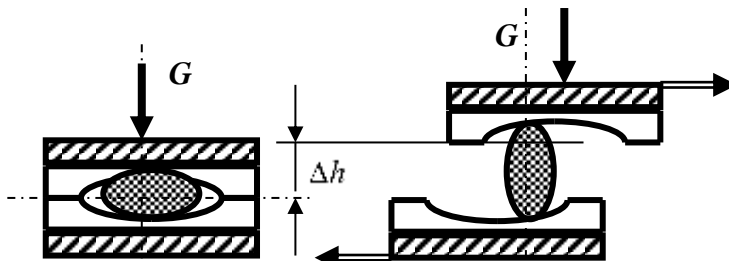


Fig. I.2 Izolatori cu role

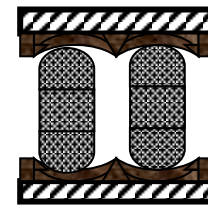


Fig. I.3 Stâlpi pendulari

Au fost propuse și **sisteme pendulare** în care rolul cinematic al roletelor este preluat de stâlpi scurți articulați atât cu structura cât și cu fundația (fig. I.3). Stâlpii pendulari asigură preluarea sarcinilor verticale și decuplarea pe orizontală iar plasarea lor în cuve umplute cu material disipativ (de regulă, pietriș + nisip sau cauciuc) asigură și un anumit grad de disipare.

## 1.3 Izolatori cu elastomeri

Sistemele de izolare bazate pe izolatori cu elastomeri (cauciuc, neopren) plasați între structură și fundație sunt, până acum, cele mai utilizate sisteme de izolare seismică.

Există două tipuri principale de izolatori cu elastomeri, izolatori denumiți generic RB (rubber bearing = rulment cu cauciuc) : izolatori cu amortizare redusă - LDRB (low-damping rubber bearing) și izolatori cu amortizare mărită - HDRB (high-damping rubber bearing).

*Izolatorii cu amortizare redusă* (LDRB) sunt formați din straturi alternante de material elastomeric (cauciuc natural, neopren) vulcanizate pe plăci de oțel (Fig. I.4/ stânga). Plăcile de oțel au rolul de a preveni

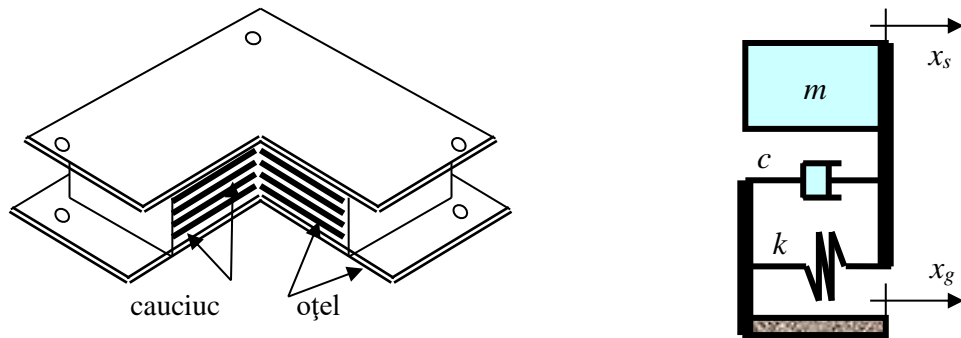


Fig. I.4 Izolator cu amortizare redusă (tip LDRB)

secționarea laterală a materialului izolant și de a conferi o rigiditate verticală necesară preluării încărcărilor gravitaționale.

Capacitatea de amortizare orizontală este conferită numai de către materialul izolant, de regulă, cauciuc natural care asigură un raport de amortizare  $\zeta$  de ordinul a 2 - 3 %. Prin urmare, pe direcția orizontală, același dispozitiv include atât rigiditatea cât și amortizarea iar comportarea sa mecanică poate fi modelată cu un model Kelvin-Voigt (Fig. I.4/dreapta) adaptat materialului izolant.

*Izolatorii cu amortizare mărită* (high damping rubber bearing - HDRB) au aceeași structură bazată pe alternanța oțel-cauciuc dar utilizează cauciuc cu particule extra-fine de carbon, rășini și alte adausuri care îi asigură o capacitate de amortizare mărită, cu un raport de amortizare  $\zeta$  de ordinul a 20 - 100 %.

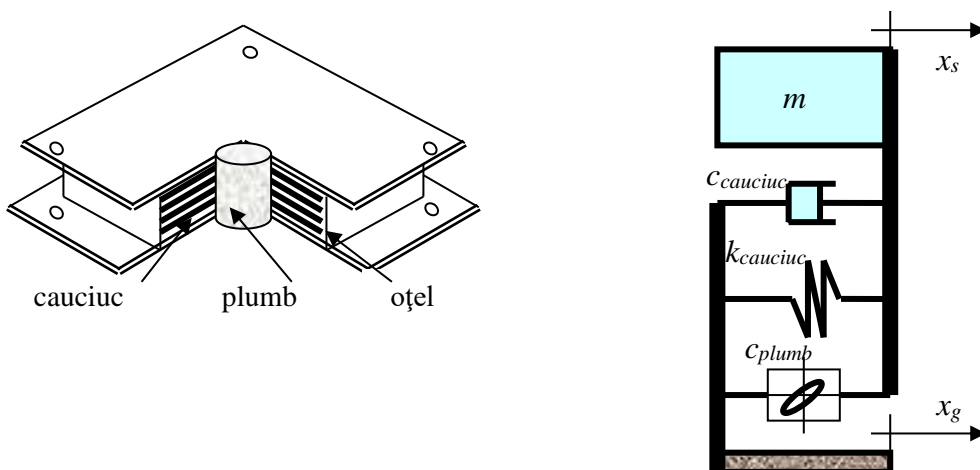


Fig. I.5 Izolator cu amortizare mărită (tip LRB)

Cu scopul de a mări capacitate de amortizare s-au utilizat și *izolatori cu adaus de plumb* - LPB (lead plug bearing) cu o structură asemănătoare izolatorilor RB dar care conțin una sau mai multe găuri cilindrice verticale în care se introduc materiale cu o mare capacitate de amortizare cum este plumbul. Deci, pe lângă capacitatea de amortizare a cauciucului natural se adugă o amortizare apreciabilă dată de plumb, iar modelul analog de comportare include și amortizarea de tip histeretic a plumbului (Fig. I.5).

#### 1.4 Sisteme cu frecare și revenire

Au fost concepute sisteme de izolare a bazei formate prin combinarea sistemelor simple bazate pe frecare cu sistemele cu elastomeri. Comportarea dinamică de ansamblu este ameliorată astfel prin combinarea efectelor de disipare prin frecare cu efectele de disipare și revenire date de izolatorii cu elastomeri.

Principial, aceste sisteme pot fi modelate cu modelele analogice de frecare (Fig. I.1) combinate cu

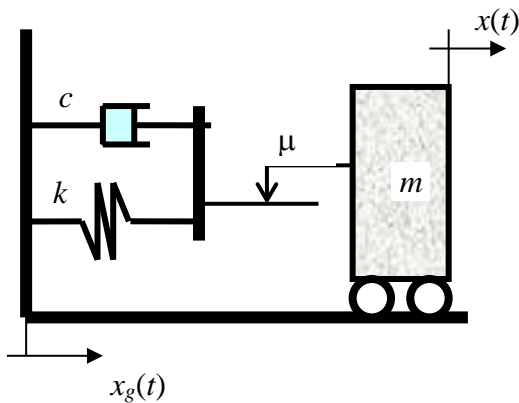


Fig. I.6 Izolator cu elastomer cuplat in serie cu un izolator cu frecare

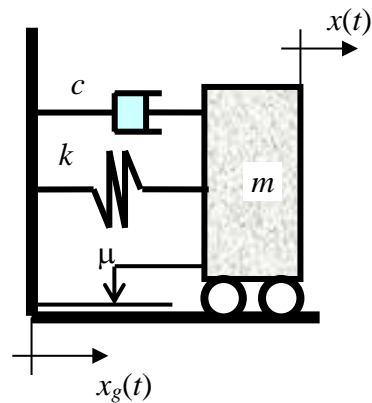


Fig. I.7 Izolator cu elastomer cuplat in paralel cu un izolator cu frecare

modelele analogice ale izolatorilor cu elastomeri (Fig. I.4) cuplate în serie (Fig. I.6) sau paralel (Fig. I.7).

### 1.5 Sisteme de izolare pendulare cu adaos de cauciuc

O interesantă combinație este *sistemul pendular cu adaos de cauciuc* (PRB, pendular ruber bearing).

Sistemul constă în amplasarea a unor stâlpi din beton armat articulați la ambele capete atât în structură cât și în fundație și înglobați în neopren (Fig. I.8). Stâlpii pendulari asigură transmiterea forțelor verticale și un anumit grad de decuplare orizontală însoțită de o disipare și forță de revenire

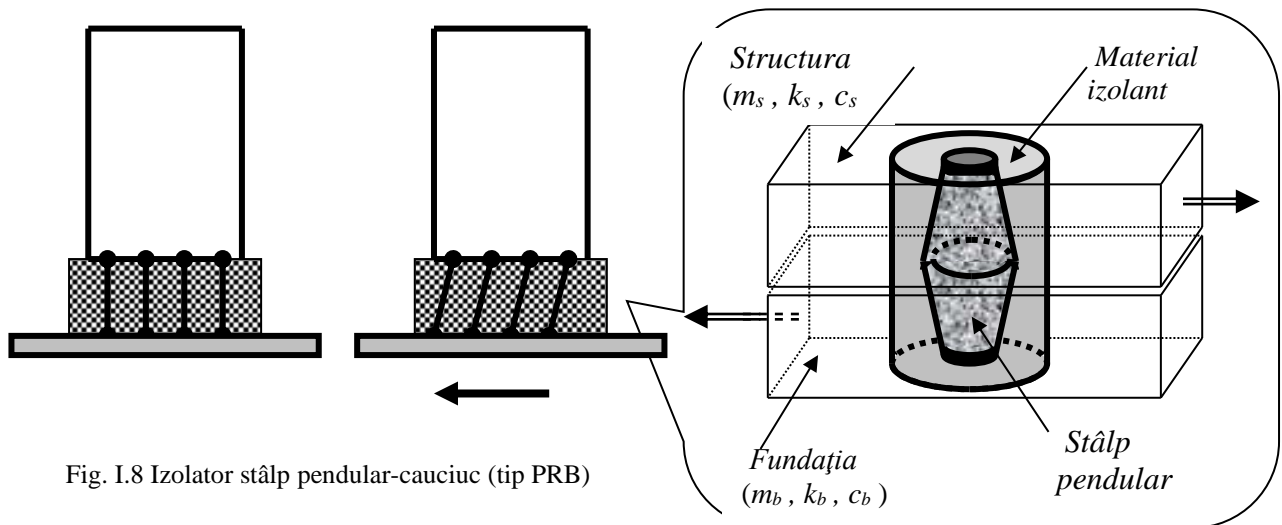


Fig. I.8 Izolator stâlp pendular-cauciuc (tip PRB)

datorate ridicării structurii pe suprafețele eliptice ale extremităților.

Masa de material izolant în care sunt încastrați stâlpii furnizează majoritatea disipării și a forței de revenire. Se remarcă faptul că materialul izolant nu este solicitat permanent de către forțele verticale și lucrează la compresiune numai în timpul evenimentului seismic, ceea ce constituie un avantaj din punctul de vedere al durabilității. Ca dezavantaj se poate menționa lipsa accesului după punerea în operă astfel încât nu se poate verifica în timp starea materialului izolant.

O variantă a sistemului PRB de mai sus poate fi obținută prin plasarea stâlpilor pendulari și a materialului izolant într-o cuvă de beton armat cu posibilitate de acces pentru întreținere și control (Fig. I.9). Această variantă, indicată pentru structurile amplasate pe fundații izolate, elimină dezavantajul lipsei de acces la materialul izolant.

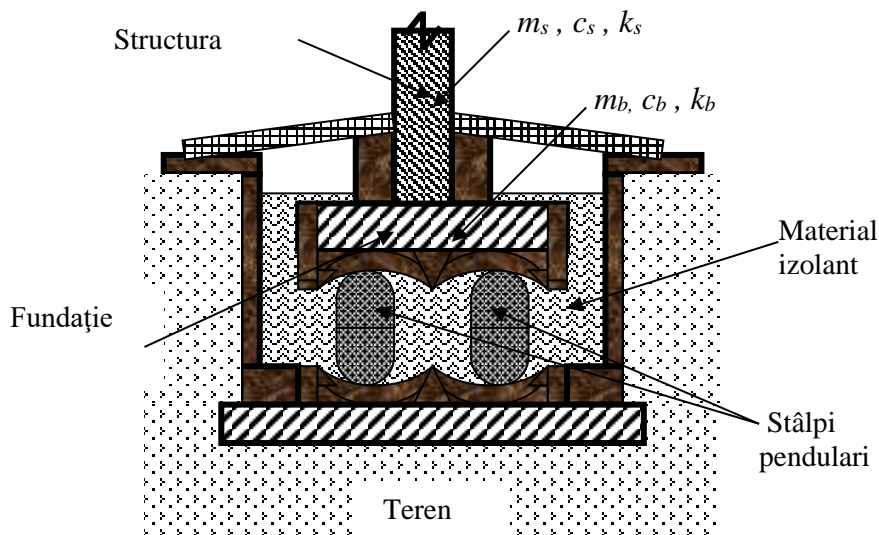


Fig. I.9 Variantă a sistemului PRB

Sistemul PRB poate fi modelat cu un model analog cu două grade de libertate, (Fig. 1.10), un grad reprezentând structura iar al doilea reprezentând baza de susținere formată din fundație și stratul izolat. Model liniar cu un grad de libertate. ( Fig.I.11).

### 1.6 Sisteme mixte – izolatori RB + penduli

Un alt sistem, deosebit de eficient din punct de vedere mecanic, este dat de combinația dintre izolatori elastomerici și izolatori pendulari reuniți într-un singur dispozitiv (Fig.I.12). Acest izolator combinat poate fi utilizat în locul izolatorilor componenți și asigură transmiterea forțelor verticale prin componenta pendulară degrevând izolatorii elastomerici care intră în lucru numai la cutremur.

## 2. Sisteme de control cu frecare uscată

FUJITA a studiat teoretic și experimental un sistem de protecție antiseismică în care un amortizor cu frecare uscată controlabilă este amplasat între baza structurii și teren, în montaj paralel cu un sistem elastic. Forța de frecare a fost controlată cu ajutorul unui actuator hidraulic. Clădirea a fost modelată ca un sistem discret cu două grade de libertate, controlul forței de frânare a mișcării relative dintre bază și teren fiind sintetizat utilizând logica fuzzy. Răspunsul în deplasări a rezultat satisfăcător pentru mișcări seismice cu viteze până la 1 m/s.

Performanțele unui sistem de control semiactiv al vibrațiilor seismice cu frecare uscată variabilă au fost analizate de STAMMERS și SIRETEANU pentru modele de structuri cu izolare la bază având două și trei grade de libertate. Rezultatele obținute prin simulare numerică au fost suficient de încurajatoare pentru a extinde atât modelul clădirii cât și strategia de control. Strategia de control semiactiv pentru reducerea accelerațiilor constă în generarea unor forțe de amortizare care să contrabalanseze forțele elastice ('balance logic'), care apar în elementele structurale, în acele secvențe ale mișcării în care aceste forțe acționează în sensuri contrare. În celelalte secvențe forțele de amortizare sunt foarte mici sau chiar nule. În acest mod se reduce transmisibilitatea sarcinilor dinamice obținându-se totodată și o reducere a frecvenței naturale a structurii fără însă a afecta rigiditatea statică a acesteia.

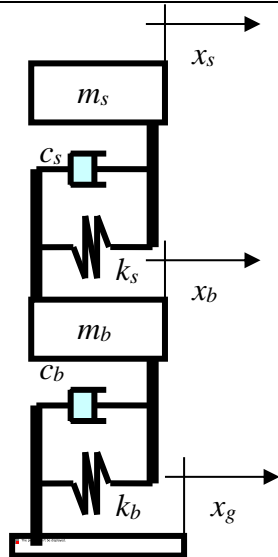


Fig. I.10- Model liniar cu 2 grade de lib.

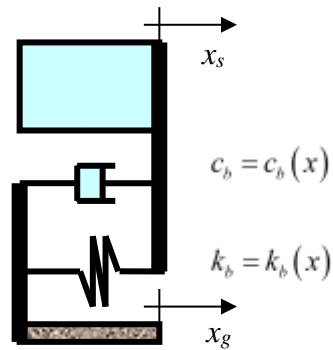


Fig. I.11- Model neliniar cu un grad de libertate

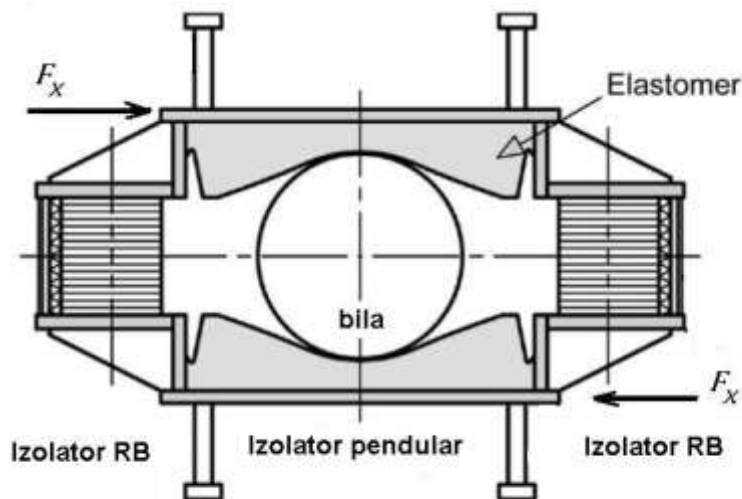


Fig. I.12 Izolator combinat

Deoarece clădirile au în general mai multe etaje, nu este posibilă, atât din punct de vedere tehnologic cât și economic, amplasarea amortizoarelor la toate nivelurile. Rezultatele obținute prin simulare numerică pe modelul din Fig.I.13, prezentată în figura I.14 arată că sistemul de control semiactiv cu frecare uscată amplasat în sistemul de izolare la baza este cel mai eficient din punct de vedere al reducerii accelerațiilor transmise structurii de către acțiunea seismică.



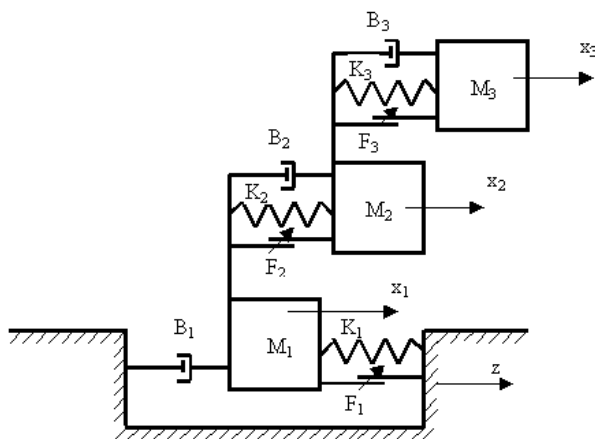


Fig. I.13. Modelul mecanic al cladirii si sistemului de protectie antiseismica.

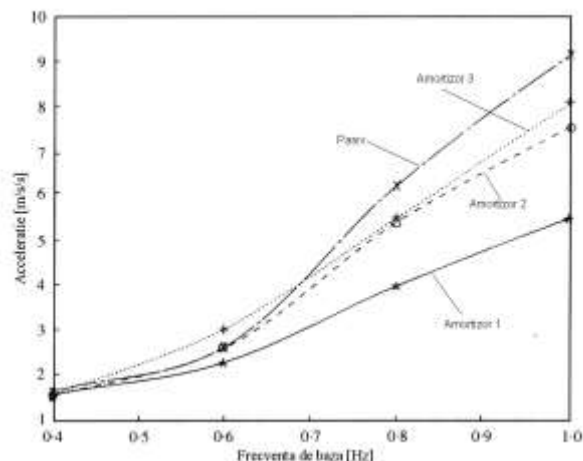


Fig. I.14. Acceleratia laterala maxima. Efectul fiecarui amortizor.

### 3. Sisteme de control cu lichide magnetoreologice

Odata cu realizarea industrială a fluidelor magnetoreologice, atenția specialiștilor în domeniul controlului semiactiv al vibrațiilor a fost atrasă de utilizarea amortizoarelor magnetoreologice. Acestea sunt ușor de controlat, pot genera forțe de amortizare foarte mari cu un consum mic de energie și sunt foarte fiabile. Un amortizor magnetoreologic este un dispozitiv constând într-un amortizor convențional în al cărui piston este practicat un orificiu fix de trecere a fluidului magnetoreologic și este montat un circuit electromagnetic. Fluidul magnetoreologic este un ulei hidraulic sintetic care conține particule feromagnetice aflate în suspensie. Prin aplicarea unui câmp magnetic obținut prin alimentarea cu curent electric a bobinelor montate în piston, particulele feromagnetice formează lanțuri modificându-se astfel tensiunea de rupere și deci proprietățile reologice ale fluidului. Prin urmare, forțelor dezvoltate de amortizor pot fi variate în conformitate cu strategia de control semiactiv adoptată printr-o variație adecvată a curentului de alimentare a circuitului electromagnetic al amortizorului, fără a fi necesară utilizarea unor supape cu geometrie variabilă care ar implica existența unor părți mecanice în mișcare și deci timp de răspuns mai mare și fiabilitate mai redusă. O sinteză asupra fluidelor magnetoreologice poate fi găsită în AGRAWAL et al.

Amortizoarele magnetoreologice pot fi alimentate cu energie electrică numai de la baterii de acumulatori și nu de la rețea care, de cele mai multe ori, cade în timpul unui seism major. Amortizoarele magnetoreologice sunt sigure în funcționare întrucât asigură un anumit nivel de disipare a energiei chiar în condițiile în care nu sunt alimentate cu curent electric. Evitarea sedimentării particulelor feromagnetice poate fi evitată prin introducerea în amortizor a unor dispozitive de agitare mecanică (cum ar putea fi, de exemplu, lamelele elastice încastate acționate cu elemente piezoelectrice). Principiul constructiv al unui amortizor magnetoreologic (AMR) este prezentat în fig. I.17. și fig. I.18.

S-a demonstrat că printr-o proiectare adecvată puterea electrică necesară pentru controlul unor forțe de amortizare în domeniul 0-200 kN este de numai 50W și prin urmare curentul de alimentare a bobinelor din piston este de ordinul a câtorva amperi.

DYKE et al. a propus un sistem de protecție antiseismică cu AMR bazat pe utilizarea unei strategii de tip "clipped optimal control", având accelerațiile măsurate ca semnale de "feed back". În simulările numerice efectuate a fost utilizat modelul analitic al unui amortizor magnetoreologic monotubular aflat în comerț. Timpul de răspuns al amortizorului a fost de cca. 8ms. Rezultatele simulărilor au arătat că utilizarea amortizorului ca element pasiv alimentat cu curentul maxim admisibil poate conduce la cca o înjumătățire atât a deplasărilor relative între niveluri cât și a accelerațiilor laterale. Rezultate similare au fost obținute și în cazul în care AMR lucrează ca un amortizor vâcos în absența câmpului magnetic. Utilizarea strategiei de control menționată poate conduce la o micșorare în continuare a deplasării relative între niveluri în detrimentul însă al creșterii accelerațiilor laterale obținute cu primul sistem de control pasiv.

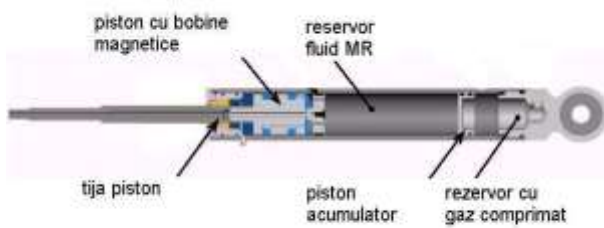


Fig.I.17. Schema amortizor magnetoreologic monotubular

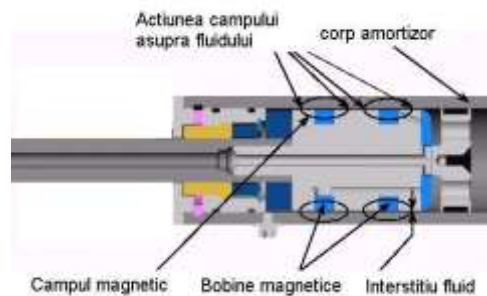


Fig.I.18 Detaliu piston amortizor MR

## II. Exemplificarea mentenanței unui obiectiv izolat seismic pentru a-și menține caracteristicile funcționale în limitele în care a fost proiectat și în timp (zeci de ani);

În vederea menținerii funcției de izolare seismică la o clădire, întregul echipament care îndeplinește această funcție necesită o inspecție și mentenanță continuă.

O clădire este proiectată să aibă o existență de zeci de ani de aceea și sistemul de izolare trebuie să-și păstreze intacte proprietățile pe timpul exploatării construcției.

*Asigurarea perimetrului din jurul clădirii la suprafață.*

Ținând cont de mișcarea orizontală a unei clădiri în plan orizontal de 30-50 cm este necesar ca în timpul mișcării datorate unui seim puternic clădirea să nu întâlnească obstacole în această arie înconjurătoare a ei.

*Asigurarea locului unde sunt instalate echipamentele care realizează izolarea seismică a clădirii.*

- A nu se depozita în aceste incinte materiale combustibile.
- A se evita depozitarea provizorie de materiale rigide care ar putea limita mișcarea dispozitivelor în cazul unui cutremur puternic.

*Asigurarea la îmbătrânire a unor materiale din sistemul de izolare.*

Acest lucru se poate întâmpla datorită îmbătrânirii elementelor de cauciuc din amortizoare. Dar posibilitățile sunt foarte mici să se întâmple acest lucru deoarece cele mai multe materiale folosite au fost supuse testelor și rezistă cât durează viața construcției.

*Principalele etape de verificare/mentenanță a unei clădiri izolate seismic în timpul exploatării.*

Sistemul de verificare periodică, în urma unei exploatări normale a clădirii, în afara unor evenimente deosebite este foarte importantă pentru menținerea caracteristicilor sistemelor de izolare în timp îndelungat. (după cum se știe o clădire poate avea o perioadă de exploatare de zeci de ani).

Aceste etape sunt :

- 1) Inspecția la recepția clădirii.
- 2) Inspecții anuale pentru verificarea funcționării conform specificațiilor de proiectare, (vizuale).
- 3) Inspecții la intervale de 5 sau 10 ani verificarea întregului sistem de izolare. Dacă în cursul acestor inspecții se constată modificări, de orice fel, ale formelor echipamentului se pot face verificări prin măsurători pentru a constata dacă sistemul și-a păstrat caracteristicile din proiect.

- 4) Verificarea elementelor componente ale sistemului de izolare după seisme puternice, (în general cu  $M_w > 7$ ) vânturi puternice, incendii în apropiere, inundații, etc. este absolut necesară putându-se produce deteriorări mecanice ale sistemului de izolare, pierderi de lichid hidraulic, deteriorări ale elementelor de cauciuc, etc.
- 5) Ținerea strictă a evidenței inspecțiilor.

În cazul când se aduc modificări clădirilor izolate seismic este absolut necesar consultarea proiectantului inițial/de specialitate (în lipsa celui inițial) pentru a constata că eventualele modificări ale clădirii (partiu interior, o încărcare suplimentară pe structură, etc.) nu influențează negativ comportamentul clădirii în cazul unui seism puternic.

*Manualul de utilizare.*

Fiecare sistem de izolare seismică să aibă un manual de utilizare în care să se țină și evidența diferitelor schimbări.

### **III. Protejarea clădirilor de patrimoniu și monumentelor istorice prin acest demers de creștere a rezilienței la acțiuni seismice puternice, prin posibile izolări a acestora.**

În București în anul 2022 există trei clădiri izolate seismic, descrise în Tabelul III.1 și pozele prezentate mai jos în figurile, Fig.III.1, III.2 și III.3 :

**Tabel III.1. Clădiri izolate seismic din Bucuresti**

Nr.	Locația seismografelor	Adresa	Număr stații seismice	Nr. etaje	An construcție	Sistem structural
1	Arcul de Triumf (Fig. 3.1)	București; Piața Arcul de Triumf	2		1921	Beton, zidărie
2	Primăria Generală a Municipiului București (Fig.3.2)	București; Bulevardul Regina Elisabeta nr. 47	4 accelerometre	S+P +3E +Ma	1906	Zidărie de cărămidă cu planșee de beton armat cu chesoane întoarse
3	Clădirea Victor Slăvescu, Academia de Științe Economice (Fig. 3.3)	București; Calea Griviței 2-2A	2	S+P +2E +Ma	1905	Zidărie de cărămidă cu acoperiș tip șarpantă



Fig. III.1



Fig. III.2



Fig. III.3

Înregistrări ale seismului din 28.10.2019 pe monumentul istoric Arcul de Triumf/București sunt prezentate în Fig. III.4.

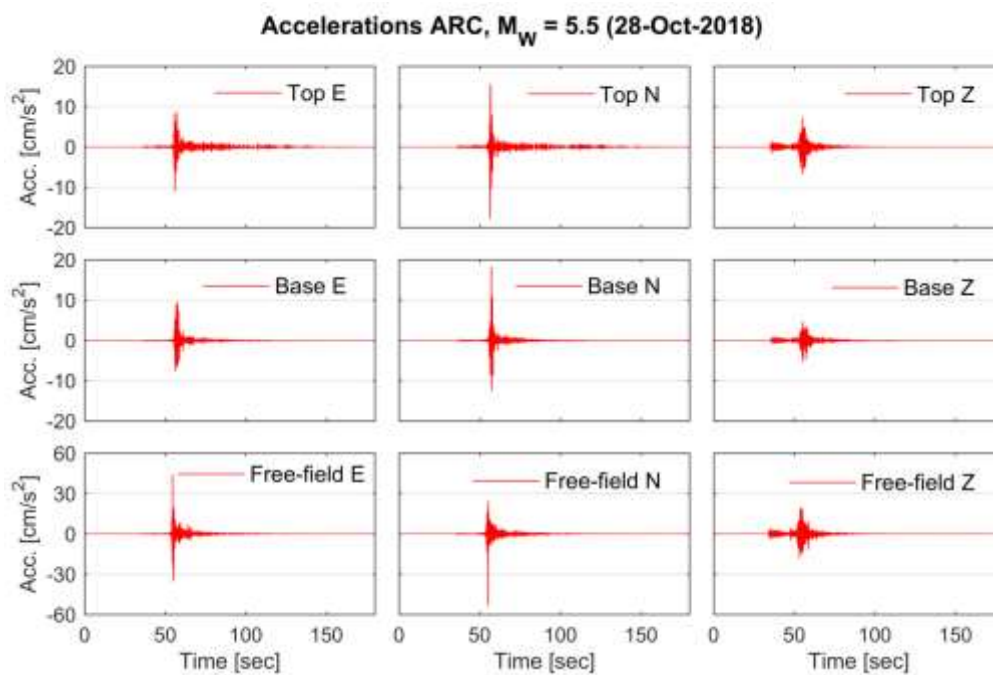


Fig. III.4.

Înregistrările au fost efectuate în câmp liber, la bază și pe partea superioară a monumentului pe direcțiile E-W, N-S și pe verticală (Z).

Accelerații înregistrate la seismul din 28.10.2018 la clădirea ASE/București, pe direcțiile E-W, N-S și verticală, Z. Fig. III.5. Senzorul ASE1- sub izolator, iar senzorul ASE2 deosupra izolatorului.

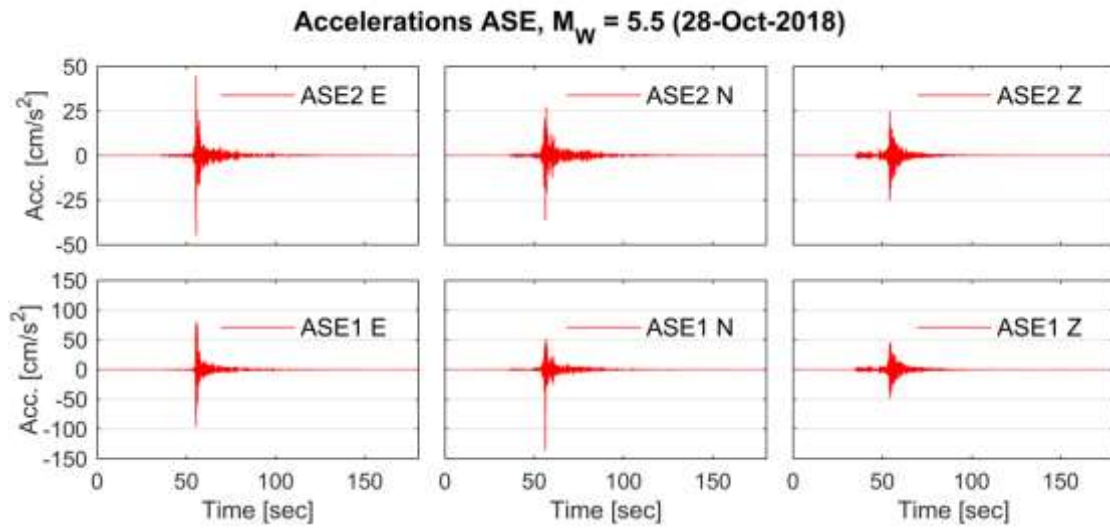


Fig.III.5.

Accelerații înregistrate la seismul din 28.10.2018 la clădirea Primăria Municipiului București la parter, etajul 2,3 și attic, pe direcțiile E-W, N-S și verticală (Z). Fig.III.6.

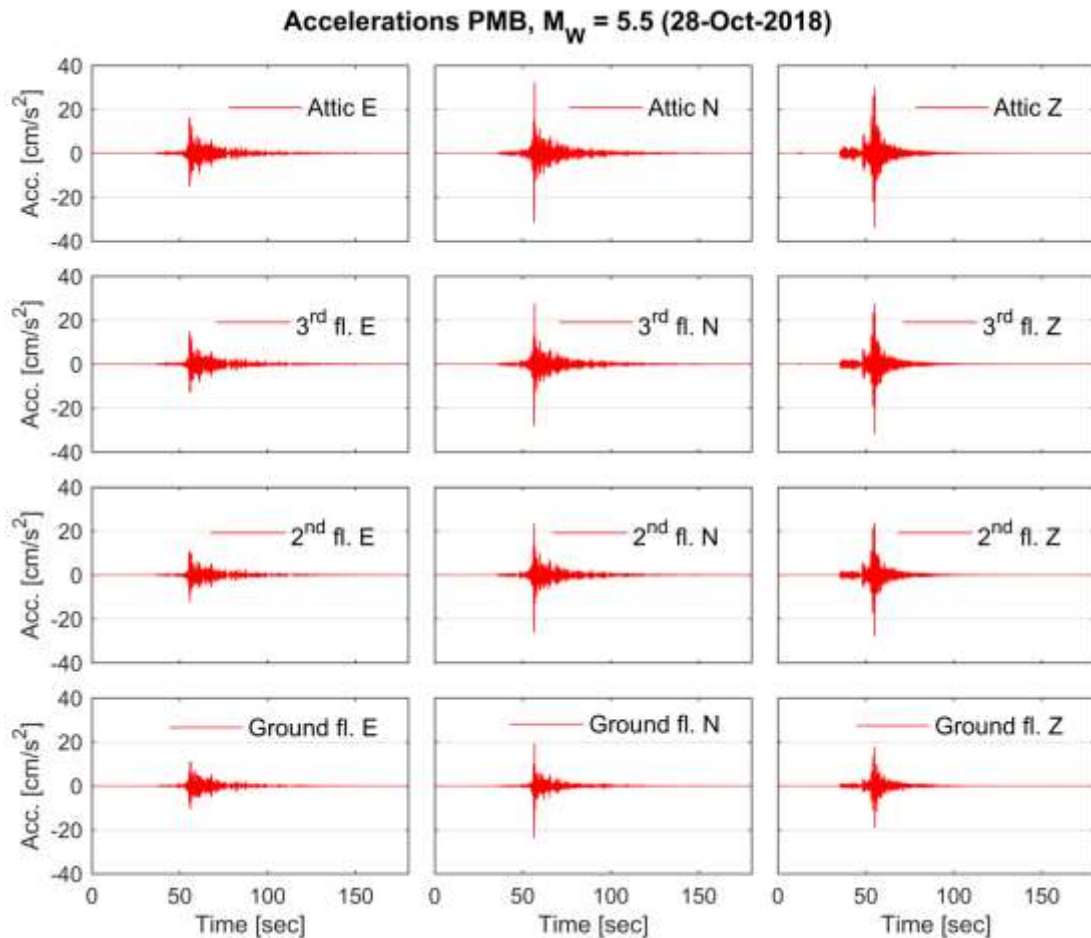


Fig. III.6.

Calitativ, pentru structura **Arcului de Triumf**, unde senzorul de câmp liber este aproape de locație, se observă o reducere netă a spectrelor de răspuns calculate, pe ambele componente, față de senzorul instalat la baza structurii izolate ( Figura III.7).

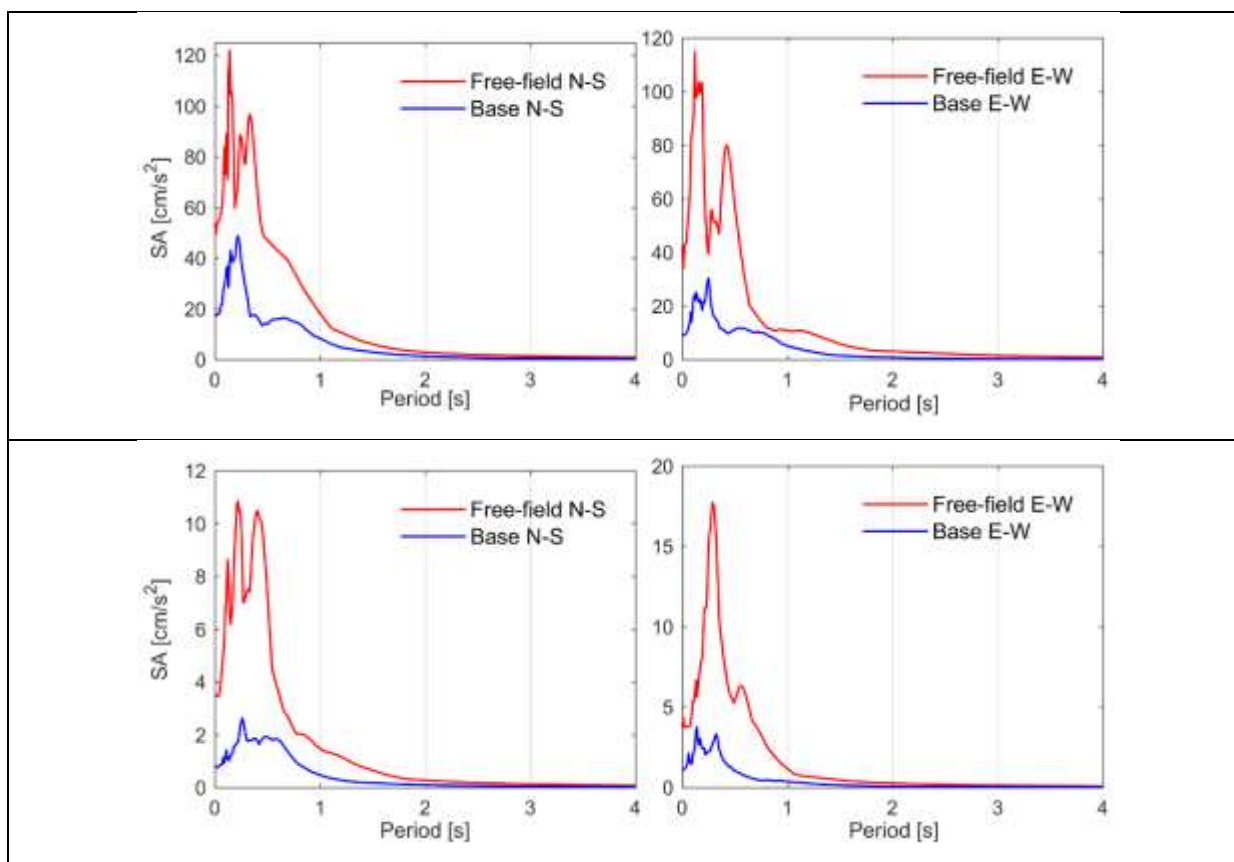


Fig. III.7. Spectrul de răspuns la Arc de Triumf, la bază (deasupra izolatorului) și în câmp liber (distanță de 180 m). Seismul din 28 octombrie 2018 (grupul de sus) și seismul din 31 ianuarie 2020 (grupul de jos).

În figurile III.8 și III.9 sunt reprezentate grafic spectrele de răspuns calculate la **situl ASE**. Comparăția se face folosind stația instalată sub structura, cuplată cu pământul, față de stația în câmp liber și la senzorul situat deasupra sistemului de izolare, cuplat cu structura. Este clar că valorile spectrelor de răspuns sunt mai mici, pentru tot intervalul de perioadă și pentru ambele cutremure, la compararea datelor înregistrate pe structură față de datele înregistrate la sol. Totuși, având în vedere variabilitatea stării locale a solului și distanța de 600 m față de stația în câmp liber, trebuie observat că valorile sunt mai mici, atât pentru cutremure, cât și pentru ambele componente, în câmp liber față de senzorul plasat sub izolatoar. Valorile maxime de accelerație spectrală ( $SA_{max}$ ) și perioadele corespunzătoare sunt prezentate în Tabelul R1 și vor fi discutate în secțiunea următoare (6. Rezultate,...).

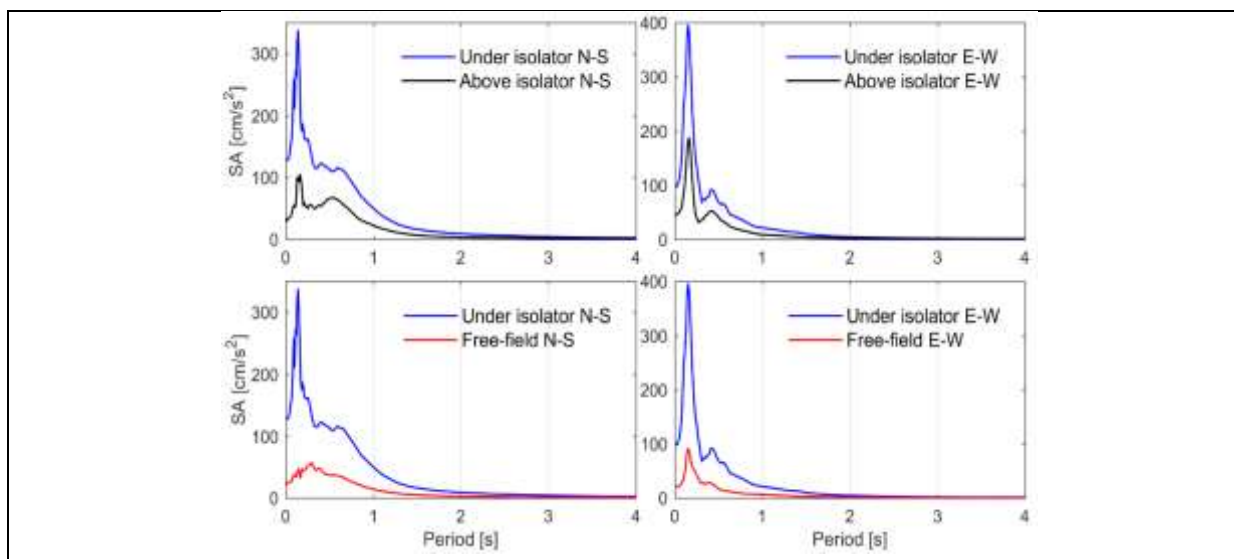


Fig. III.8. Spectrul de răspuns calculat la baza clădirii ASE (sub și deasupra izolatorului) și câmp liber la 600m. Seismul din 28 octombrie 2018.

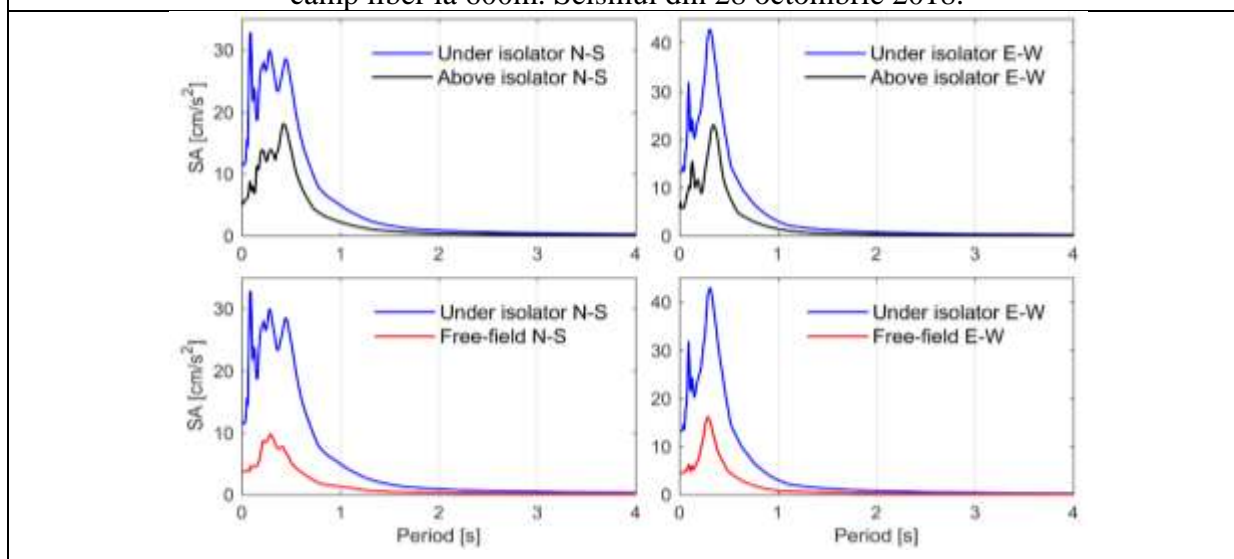


Fig. III.9. Spectrul de răspuns calculat la baza clădirii ASE (sub și deasupra izolatorului) și câmp liber la 600m. Seismul din 31 ianurie 2020.

Pentru **Primăria Municipiului București** (PMB) senzorul de la baza structurii este amplasat la nivelul primului etaj, deci chiar deasupra sistemului de izolare cu amortizoarele care sunt amplasate la subsol. Stația seismică de teren liber este situată la 1,1 km. Datorită acestei distanțe mari (mai ales într-un mediu urban cu variabilitate atât de mare în ceea ce privește condițiile locale ale solului), comparația directă nu va indica clar performanța sistemului de izolare, dar poate fi folosită ca referință pentru validarea datelor înregistrate.

S-a evidențiat amplificarea/reducerea mișcării seismice înregistrate la nivelul bazei structurii ( deasupra sistemului de izolare), în comparație cu mișcarea în câmp liber. Datele au reflectat spectre de răspuns la accelerații ale componentelor orizontale pe direcția nord-sud (N-S) și est-vest (E-V). Fig. III.10.

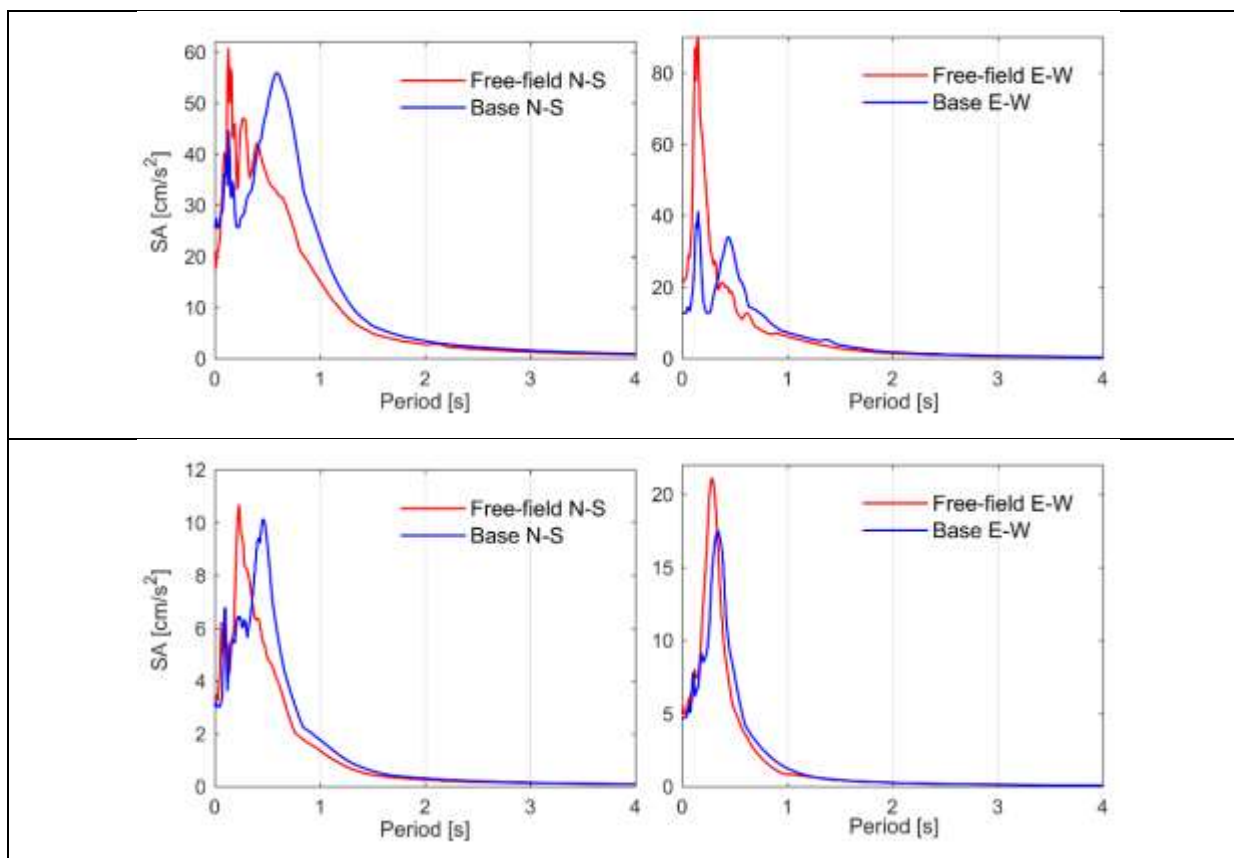


Fig. III. 10. Spectru de răspuns la baza Primăriei Municipiului București (PMB), (deasupra izolatorului) și în câmp liber (la 1,1km depărtare. Seism 28 octombrie 2018 (grupul de sus) și seismul din 31 ianuarie 2020 (grupul de jos).

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

### Rezultate:

- Bază de date cu cele mai folosite sisteme de izolare structurii.
- Prezentarea avantajelor și dezavantajelor unora din sistemele de izolare seismică a structurilor, folosite în domeniu, cu aplicabilitate la seismele vrâncene.
- În capitolul al doilea sunt prezentate principalele acțiuni și elemente care trebuie avute în vedere pentru buna funcționare pe timp îndelungat a sistemelor de izolare seismică montate pe clădiri, noi sau reabilite.
- Textul capitolului al doilea poate fi folosit ca un ghid de întreținere și mentenanță pe termen lung a structurilor izolate seismic din România.
- Tabelele prezentate mai jos R1 și R2 ne prezintă o serie de date de seismologie inginerască înregistrate/procesate pe cele trei clădiri izolate seismic în București (ASE, ARC și PMB).



**Tabel R1.** Parametrii de seismologie inginerească la clădirile izolate seismic.

Stația	Seismul (M <sub>w</sub> )	Locația sezorului	Componenta seismului					
			N-S			E-W		
			A <sub>max</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	SA <sub>max</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	T <sub>SAmax</sub> (s)	A <sub>max</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	SA <sub>max</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	T <sub>SAmax</sub> (s)
ASE	5.5	Câmp liber	25.5	57.3	0.29	21.5	91.7	0.15
		Deasupra izolator	33.4	105.0	0.16	46.5	187.6	0.16
		Sub izolator	129.4	337.2	0.14	98.6	394.9	0.15
	4.8	Câmp liber	3.7	9.8	0.29	4.5	16.1	0.29
		Deasupra izolator	5.6	18.1	0.42	5.7	23.0	0.34
		Sub izolator	11.5	32.8	0.09	13.2	42.8	0.31
ARC	5.5	Câmp liber	53.9	122.1	0.14	42.6	114.9	0.12
		Deasupra izolator	17.8	48.8	0.22	9.4	30.4	0.25
	4.8	Câmp liber	3.5	10.9	0.22	3.8	17.7	0.29
		Deasupra izolator	0.8	2.6	0.26	1.2	3.8	0.14
PMB	5.5	Câmp liber	20.8	60.6	0.13	22.3	90.0	0.15
		Deasupra izolator	25.5	55.9	0.59	12.7	41.4	0.15
	4.8	Câmp liber	3.3	10.7	0.23	5.0	21.1	0.28
		Deasupra izolator	3.0	10.1	0.46	4.7	17.5	0.34

- Pentru cutremurul de 5,5 M<sub>w</sub> (28 octombrie 2018), accelerațiile maxime înregistrate la sol (PGA) în zona Bucureștiului au valori cuprinse între 20,8 cm/s<sup>2</sup> (valoarea cea mai mică, la stația de câmp liber PMB, pe componenta N-S) și 129,4 cm./s<sup>2</sup> (valoarea cea mai mare, la stația ASE, pe componenta N-S).
- Valorile datelor de accelerații spectrale maxime (SA<sub>max</sub>) împreună cu perioada corespunzătoare (T<sub>SAmax</sub>), sunt prezentate în Tabelul R1. Valorile mai mari pentru accelerațiile spectrale maxime sunt întâlnite sub izolatoarele clădirii ASE, unde s-au înregistrat valori pe ambele componente orizontale net mai mari (394,9 cm/s<sup>2</sup> și 337,2 cm/s<sup>2</sup>). Aici au depășit (de peste 3 ori pe componenta E-V) cele corespunzătoare din câmp liber.
- Pentru cutremurul de 4,8 M<sub>w</sub> (31 ianuarie 2020), accelerațiile maxime înregistrate la sol în zona Bucureștiului au valori cuprinse între 3,3 cm/s<sup>2</sup> (valoarea cea mai mică, la stația de câmp liber PMB, pe componenta N-S) și 13,2 cm/s<sup>2</sup> (valoarea cea mai mare, la stația ASE, pe componenta E-W).

**Tabel R2.** Procentul de reducere pe clădirile izolate seismic pentru cele două seisme, ambele componente, în raport de câmp liber.

Stația	Seismul ( $M_w$ )	Perechea	Componenta seismului					
			N-S			E-W		
			$A_{max}$ [%]	$SA_{max}$ [%]	$T_{SA_{max}}$ [%]	$A_{max}$ [%]	$SA_{max}$ [%]	$T_{SA_{max}}$ [%]
ASE	5.5	sub – deasupra izolator	74	69	53	52	74	69
	4.8	sub – deasupra izolator	51	45	57	46	51	45
ARC	5.5	Câmp liber - deasupra izolator	67	60	78	74	67	60
	4.8	Câmp liber - deasupra izolator	77	76	68	79	77	76

- Valorile mai mari ale accelerațiilor spectrale maxime se întâlnesc la subsolul clădirii ASE, unde s-au înregistrat valori net mai mari pe ambele componente orizontale (32,8 cm/s<sup>2</sup> și 42,8 cm/s<sup>2</sup>).
- În Tabelul R2 este prezentată o evaluare a performanței sistemului de izolare la seisme, pentru două structuri. Aceste două structuri au fost alese deoarece datele din câmp liber (sau datele înregistrate la nivelul solului) pot fi comparate cu datele înregistrate pe structură.
- Tabelul R2 prezintă procentul de reducere a valorilor maxime înregistrate ale accelerațiilor și  $SA_{max}$ , pe ambele componente și pentru ambele cutremure. Procentul de reducere se calculează folosind ca referință datele din câmp liber (sau datele înregistrate la nivelul solului, pentru ASE), în raport cu datele înregistrate la baza structurii izolate, chiar deasupra izolatoarelor. Cele două structuri au fost selectate având în vedere distanța mică dintre senzori, astfel încât comparația este fiabilă.
- Datele indică o reducere de cel puțin 51% (Tabelul R2) în ceea ce privește valorile maxime înregistrate ale accelerațiilor și o reducere de cel puțin 45% în ceea ce privește accelerațiile spectrale maxime. Evenimentele seismice sunt însă moderate, iar răspunsul efectiv al structurilor izolate seismice la cutremure puternice din Vrancea, (în special la componentele mari de perioadă lungă ale spectrelor de răspuns) este încă un subiect deschis.
- O scădere clară a valorilor  $SA_{max}$  se observă la structura subsolului ARC, comparativ cu stația corespunzătoare în câmp liber (de 4,5 ori mai mică pe componenta E-V, pentru cutremurul din 2018). Aici sistemul de izolare este plasat sub senzorul din subsol. Valorile perioadei fundamentale sunt pentru toate stațiile în intervalul 0,09 s - 0,59 s. Deși există vârfuri secundare, în special pentru stațiile cu câmp liber (ARC, PMB), niciuna dintre ele nu a depășit 0,7 s, ceea ce înseamnă că sunt în perioadă scurtă. Valorile perioadelor fundamentale observate la București pentru cutremure puternice distructive sunt în intervalul perioadelor lungi (>1,0 s), ca și în cazul cutremurului din 1977, când s-au înregistrat accelerații spectrale mari pentru perioade de aproximativ 1,5 s.

## Concluzii

- Prin prezentarea succintă a celor mai folosite sisteme de izolare seismică a structurilor pe plan internațional se poate trage o concluzie despre folosirea celor mai adecvate sisteme funcție de cerințe și fonduri disponibile la momentul proiectării unor astfel de protecții împotriva seismor puternice.
- Prin capitoul doi se aduce la cunoștință persoanelor interesate un ghid de mentenanță a sistemelor de izolare seismică.
- Scopul principal al acestui studiu a fost de a evidenția performanța sistemelor de protecție împotriva cutremurelor instalate pe clădirile reabilitate din București pentru a reduce forțele laterale induse în structuri atunci când sunt supuse la cutremure.
- Câteva concluzii pot fi trase în consecință după analiza datelor în domeniul timpului și domeniul frecvenței:
- ARC - structură echipată cu sistem de protecție împotriva cutremurelor (bază-izolatoare și amortizoare) care a redus accelerația înregistrată la stația în câmp liber cu un factor în intervalul de la 3 la 4,5;
- ASE - diferențe mai mari de accelerație la bază, comparativ cu stația în câmp liber situată la 600 m distanță (BSTR), cu cele mai mari valori de accelerație spectrală. Sistem eficient de protecție împotriva cutremurelor, cu o reducere a semnalului cu un factor în intervalul de la 2,0 la 3,8;
- PMB - accelerație similară sau puțin mai mică a bazei față de cea înregistrată de un senzor de câmp liber (BTMR) situat la 1,1 km distanță. Cu toate acestea, din cauza distanței, comparația poate fi doar în sens general.
- Se evidențiază o influență clară a sistemelor de protecție împotriva cutremurelor, dovedindu-se a fi o soluție pentru unele structuri mai vechi supuse cutremurelor medii.
- Aceste tipuri de analize contribuie la o mai bună înțelegere a comportamentului structurilor atunci când sunt supuse la cutremure. Monitorizarea seismică a clădirilor poate oferi, de asemenea, o evaluare rapidă a daunelor după un eveniment seismic puternic, pe baza nivelului de accelerații suferit de clădiri, atenuând astfel riscul seismic pentru zonele dens populate din România.
- Acest studiu a reprezentat o analiză a datelor înregistrate pe clădirile instrumentate și pe stațiile seismice în câmp liber corespunzătoare în timpul ultimelor două cele mai puternice cutremure din Vrancea din ultimii 2 ani (28 octombrie 2018 și 31 ianuarie 2020). Deși unul dintre cutremure este unul dintre cele mai mari din ultimii 20 de ani, iar datele culese sunt foarte importante, atât pentru comunitatea de cercetare, cât și pentru comunitatea de ingineri, valorile de vârf nu au produs daune, iar clădirile selectate nu au suferit daune structurale. Clădirile nu au fost alese implicit, ci ținând cont de specificul lor. Unele stații de câmp liber sunt desfășurate într-o zonă în care, în 1977, cutremurul a prăbușit multe clădiri din beton armat din perioada anterioară celui de-al Doilea Război Mondial și unde mai sunt încă în uz.

**Bibliografia este prezentată integral în Raportul extins.**

### Stadiul realizării obiectivului fazei

**Indicatori:** Prin rezultatele prezentate referitoare la crearea unei baze de date referitoare la sistemele de izolare seismică a unei structuri, prin crearea unui ghid de mentenanță a sistemelor și structurilor izolate seismic și prin prezentarea și interpretarea de date de seismologie inginerească referitoare la comportamentul a trei clădiri izolate seismic în București la 2 seisme medii din Vrancea, consideram ca **obiectivele fazei au fost îndeplinite în totalitate** și că

**angajamentele asumate au fost** atinse, iar proiectul a atins gradul de implementare scontat pentru această fază.

*Propuneri pentru continuarea proiectului:*

În această etapă, **obiectivul a fost îndeplinit integral** iar **rezultatele obținute sunt în concordanță cu țintele propuse** venind în sprijinul implementării proiectului.

**Rezultatele obținute** în această fază au fost și vor fi publicate și prezentate la conferințe științifice naționale și internaționale.

### **Articole publicate:**

*Bălan F.S., Apostol F.B., Tigănescu A.;* "Soil Conditions and Structural Typologies for Seismic Isolation of Buildings, in Cities Exposed to Strong Earthquake Hazard", *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering. Vol. X, 2021, Print ISSN 2285-6064, CD-ROM ISSN 2285-6072, Online ISSN 2393-5138, ISSN-L 2285-6064 (indexat ISI)*

Apostol B. F., *Balan S. F.*, Tigănescu A., "Investigations of the Seismic Site Response for Safer Urban Environment", *Romanian Journal of Physics* , Vol. 65, Nr. 9-10, 2020. (citat ISI)

Tigănescu A., Toma-Danila D., Grecu B., Craifăleanu I-G., *Balan S.F.*, Dragomir C.S. (2021) Current status and perspectives on seismic monitoring of structures and rapid seismic loss estimation in Romania, *Proceedings of the 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering (1CroCEE), 22-24 March 2021, Zagreb, Croatia, doi: 10.5592/CO/1CroCEE.2021.120; (proceeding publicat)*

### **Cărți**

Editori: Ionescu C, Bala A., Radulian M., Co-autor (un capitol) Bălan Ștefan Florin , "Cercetari avansate privind monitorizarea si modelarea fenomenului seismic precum si reducerea riscurilor asociate", Editura Academiei , Bucharest 2021, ISBN 978-973-27-3356-1.

Editori: C. Ionescu, M. Radulian, A. Bala, Co-autor (un capitol) Bălan Ștefan Florin "Cercetari multidisciplinare privind monitorizarea si modelarea fenomenului seismic", Editura Academiei, ISBN 978-973-27-3383-7.

Petya Trifonova, Dimcho Solakov, Stela Simeonova, Metodi Metodiev, Stefan Florin Balan, Seismic Scenario and People Exposure for Blagoevgrad Region, Bulgaria, Published in: Environmental Protection and Disaster Risks, Book Series: Studies in Systems, Decision and Control, Publisher: Springer International Publishing; Print ISBN: 978-3-030-70189-5, Electronic ISBN: 978-3-030-70190-1

### **Prezentări la conferințe:**

Alexandru Tigănescu, *Ștefan Florin Balan*, Bogdan Felix Apostol - Mitigation of seismic risk of architectural monuments in Bucharest, ESC 2021, Section 15. online, prezentare poster.

Toma-Danila D., Balan S.F., Molina S., Kharazian A., Armas I., D'Ayala D., Sun L., Tiganescu A., Vintila D., Cioflan C.O. (2021) Steps forward in rapid earthquake loss estimation for Romania, ESC 2021, Section 18. online, poster

TIGANESCU, A., GRECU, B., NEAGOE, C., TOMA-DANILA, D., TATARU, D., IONESCU, C., BALAN, S. F., *PREVENT - An integrated multi-sensor system for seismic monitoring of civil structures*, Sesiunea Stiintifica Anuala a Facultatii de Fizica, online, iunie 2021, prezentare orala - posibila publicare in Romanian Reports in Physics;

*Bălan S.F.*, Apostol B.F., Țigănescu A. And Dăneț A., Monitoring buildings at INFP for seismic vulnerability mitigation. Accepted for presentation at the 3ECEES Conference, Bucharest 4-9 September 2022.

Halldorsson B., *Bălan S.F.*, Gehl P., Melis N., Borzi B., Ruigrok E., Martinelli M., Weber B. Curone D., Schweitzer J., The TURNkey European Testbeds for Consistent Real-time Monitoring of seismic Ground Motion and other Geophysical Markers. Accepted for presentation at the 3ECEES Conference, Bucharest 4-9 September 2022.

Țigănescu A., Mărmureanu A., Grecu B., Toma-Dănilă D., Neagoe C., *Bălan S.F.*, and Ionescu C., A review of combined EEW and SHM system applications and potential use in Romania. Accepted for presentation at the 3ECEES Conference, Bucharest 4-9 September 2022.

Țigănescu A., Borzi B., *Bălan S.F.*, Bozzoni F., Galiano-Merino J.J., Kharazian A., Molina S., Negulescu C., Ozcebe A.G., Ozer E., Peloso S., Toma-Dănilă D. and Tubaldi E. Techniques and methods for near real-time seismic damage detection. Accepted for presentation at the 3ECEES Conference, Bucharest 4-9 September 2022.

Gerea A, Mihai A, Using multidisciplinary geophysical methods as a complement to the topogeodetic monitoring of hydropower dams, Near surface geophysics Conference&Exhibition, Serbia 2022.

Mihai A, Gerea A, The use of complementary geophysical methods for the detection of urban tree roots, Near surface geophysics Conference&Exhibition, Serbia 2022.

La Conferinta Geoscience 2022 au fost trimise 10 rezumate care sunt in curs de evaluare.

Responsabil Fază

Dr. Ing. Ștefan Florin Bălan

**Director proiect,**

Dr. Iren Adelina Moldovan