

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 11f, Posibilități de micșorare a riscului seismic pe amplasamente prezente și viitoare – în contextul seismicității teritoriului României.

Termen de incheiere a Fazei: 6 iulie 2021

1. Obiectivul proiectului:

Proiectul „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocari în înțelegerea dinamicii Pamantului” propune o investigație multidisciplinară, complexă și intercorelată a fenomenelor care au loc în sistemul cuplat Litosfera-Hidrosfera-Atmosfera-Ionosfera, pentru modelarea fenomenelor tectonice și a proceselor seismice și identificarea relației spatio-temporale dintre structura geologică, tensiunile crustale, potențialul seismogen, în scopul descifrării conexiunilor complexe dintre fenomenele tectonice și efectele lor asupra câmpurilor geofizice măsurabile la suprafața Pamantului. Proiectul urmărește totodată și modelele de propagare ale undelor seismice și estimarea efectelor acestora la suprafața Pamantului, prin calcularea/măsurarea deformatiilor și deplasărilor crustei și a interacțiunii sol-structuri construite în scopul evaluării hazardului și reducerii riscului la cutremur, dar și a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Acest proiect va aborda fenomenul seismic în interconexiune cu fenomenele generate de sistemele litosfera, hidrosfera, atmosfera și ionosfera în scopul diminuării riscului, ținând cont de noile metode și procedee aplicabile la aceste sisteme cuplate, încercând să răspundă provocărilor complexe de natură științifică și practică pe care dinamica Pamantului le ridică, în vederea creșterii rezilienței la cutremure.

Proiectul este structurat pe două direcții mari: „D1. Cercetări avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei” și „D2. Cercetări complexe ale interacțiunii litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera”, ce fac parte integrantă din obiectivul major

„Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocări în înțelegerea dinamicii Pamantului”, al Strategiei de dezvoltare a Institutului Național de CD pentru Fizica Pamantului (INCDFP).

În cadrul Direcției O1, Proiectul O6 “Seismologie inginerescă urbană - integrarea datelor de la accelerometre pentru reducerea riscului seismic” este structurat pe 3 Faze:

O6.1/FAZA 11 Posibilități de micșorare a riscului seismic pe amplasamente prezente și viitoare – în contextul seismicității teritoriului României.

O6.2/FAZA 17 Implementarea și performanțele metodei izolării seismice.

O6.3/FAZA 42 Propunerea unor instrucțiuni metodologice coerente de monitorizare a stării de sănătate și integritate a construcțiilor (SHM), bazate pe urmărirea curentă a evoluției în timp a caracteristicilor dinamice structurale.

Proiectul O6 propune o investigație multidisciplinară, (seismologie și inginerie seismic) privind monitorizarea clădirilor la seisme și analiza oportunității izolării seismice pe teritoriul României.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului Proiectului:

Dezvoltarea cercetărilor avansate privind evaluarea cu metode specific seismologice, geotehnice, fizice și matematice a factorilor care contribuie la riscul seismic pe teritoriul României pentru a asigura creșterea rezilienței societății umane la cutremure. Se vor dezvolta modele de propagare ale undelor seismice și estima efectele acestora la suprafața Pamantului prin calcularea/măsurarea deformațiilor și deplasărilor crustei și a interacțiunii sol-structuri construite, în scopul evaluării hazardului și reducerii riscului la cutremur, dar și 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 observată în distribuțiile spațiale ale mișcării seismice a terenului. Se va implementa o nouă metodologie prin abordări 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 capacităților 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 parametrizări stohastice a evenimentelor seismice cu implementarea de tehnici TMS (timp, magnitudine, spațiu). 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 cercetărilor complexe privind interacțiunile multiple din sistemul complex litosferă, hidrosferă, atmosferă, ionosferă în scopul identificării corelațiilor între fenomenele ce au loc în focarul cutremurelor de Pamant și semnăturile acestor fenomene la suprafața Pamantului, în Atmosferă și în stratele inferioare ale ionosferei. Se vor realiza analize multiparametrice și multi-stație a câmpurilor geofizice cu potențial precursor seismic avându-se în vedere standardizarea datelor în vederea asigurării calității. Printre rezultatele cercetărilor 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 orase din zona extracarpatică.

Rezultatele preconizate pentru atingerea obiectivului O6: Seismologia inginerescă 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 scurtă 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 11f: Posibilități de micșorare a riscului seismic pe amplasamente prezente și viitoare – în contextul seismicității teritoriului României.

Metodologia va urmări etapele:

- Definierea inputului seismic caracteristic zonelor din România unde este eficientă folosirea metodei de izolare seismică a construcțiilor;
- Identificarea clădirilor care pot fi izolate seismic eficient, existente și viitoare, conform parametrilor caracteristici de proiectare;

4. Rezultate preconizate pentru atingerea **obiectivului fazei 11f:**

- Principiul izolării seismice a bazei structurilor. Se vor analiza zonele seismice din România unde se poate aplica metoda izolării seismice a clădirilor, cu avantajele și dezavantajele specifice. Relația dintre perioada fundamentală de oscilație a unei clădiri și perioada fundamentală a terenului de fundare. Relația dintre aceasta și magnitudinea unui seism.
- Definierea cât mai corectă a accelerogramelor de la cota fundațiilor clădirilor, ținând cont de terenul pe care se află o clădire sau se va construi una. Analiza principalelor accelerograme de seisme puternice înregistrate din România, în secolul XX.
- Identificarea principalelor mărimi geofizice și ingineresti de care depinde alegerea soluției de izolare seismică a unei clădiri existente sau viitoare.
- Prezentarea clădirilor izolate seismic din capitală.
- În procesul de proiectare de izolare seismică a bazei construcției trebuie avute în vedere anumite cerințe suplimentare.

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

1. Definierea inputului seismic caracteristic zonelor din România unde este eficientă folosirea metodei de izolare seismică a construcțiilor;

1.1.Principiul izolării bazei structurale

Proiectarea antiseismică actuală a structurilor are la bază următoarele principii și cerințe de siguranță :

- structura trebuie să reziste cutremurelor minore fără daune;
- la cutremure medii se admit daune la elementele nestructurale dar nu și la elementele de rezistență;
- la cutremure majore se admit daune structurale cu condiția evitării colapsului.

Structurile de rezistență pot respecta cerințele de mai sus dacă au suficiente resurse de a disipa energia seismică transmisă de mișcarea terenului de fundație. Această disipare este rezultatul ductilității elementelor structurale, deformațiilor inelastice și remanente (admise în anumite zone prevăzute în proiectare), la care se adaugă disiparea energiei seismice dată de degradarea elementelor nestructurale.

De aici, necesitatea modificării strategiei antiseismice clasice prin folosirea unor **metode de limitare a energiei introduse în structură** și a unor **metode de disipare nedistructivă** atașate sistemului structural. Este vorba de o nouă strategie cunoscută sub denumirea de *control al răspunsului structural*, strategie relativ recentă.

Izolarea dinamică a structurii față de suportul său ("baza" ceea ce semnifică "fundația") este un vechi deziderat al proiectării structurale. Teoretic, dacă s-ar reuși o decuplare perfectă între structură și terenul de reazem, în timpul unui cutremur mișcarea terenului nu s-ar transmite și structurii, care ar putea avea în acest caz numai o deplasare de corp rigid. (fig. 1.1).

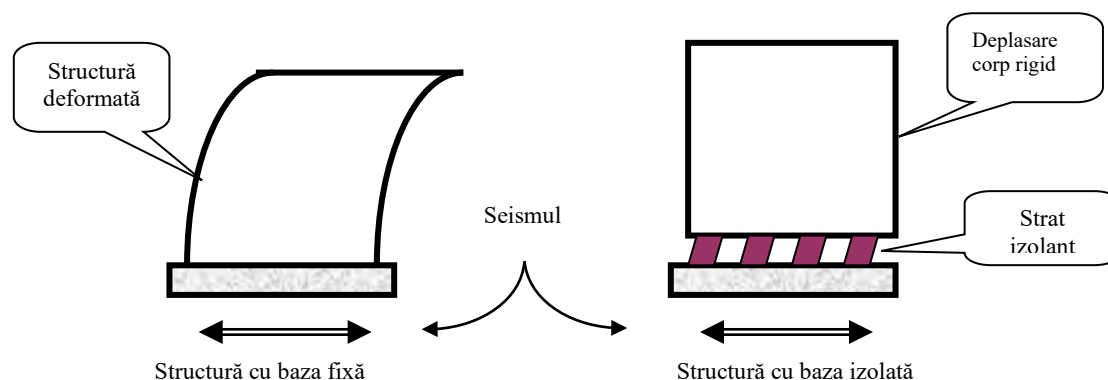


Fig. 1.1 Principiul izolării structurii în raport cu baza (fundația)

Însă, un strat izolant cu rigiditate orizontală redusă micșorează forța seismică transmisă structurii. În acest sens se folosește noțiunea de *izolare seismică*. Si în acest sens au fost realizate și aplicate sisteme de izolare seismică cu scopul de a repartiza stratului izolator procesele de deformabilitate și disipare, protejând astfel structura care are în acest caz o deformație redusă practic apropiată de comportarea de corp rigid.

Flexibilizarea introdusă de stratul izolant în ansamblul structural (structură + strat izolant + fundație) face ca perioada proprie a structurii neizolate (structură + fundație) să sufere un salt spre valori mai mari (period shift), salt care scoate structura din zona periculoasă a perioadelor predominante ale amplasamentului, evitând astfel efectele distructive datorate rezonanței sistemului dinamic.

1.2. Avantajele izolării bazei

Extragerea structurii din zona de rezonanță prin saltul perioadei proprii aduce o reducere apreciabilă a amplificării dinamice.

Astfel, de exemplu, pentru o structură-test cu perioada proprie $T_0 = 0.3$ s și un raport de amortizare de $\zeta = 5\%$ solicitată la rezonanță de o excitație cu $T_{input} = 0.3$ s factorul de amplificare dinamică este de $\Phi = x_{dynamic} / x_{static} = 10$.

În cazul în care prin introducerea unui strat izolant perioada proprie capătă un salt de la $T_0 = 0.3$ s la $T_0 = 0.5$ s amplificarea dinamică scade dramatic de la $\Phi = 10$ la $\Phi = 1.56$ în condițiile în care perioada excitației rămâne aceeași (fig. 1.2).

1.3. Restricțiile tehnologiei de izolare a bazei

Izolarea bazei prin introducerea unui strat izolant cu rigiditate orizontală redusă are drept consecință o flexibilizare a întregului ansamblu structură-strat izolant – fundație iar structura izolată capătă o perioadă proprie mai lungă față de aceeași structură dar cu bază fixă.

Datorită acestui sens al saltului – numai spre perioade mai lungi - izolarea bazei nu este un remediu universal aplicabil tuturor tipurilor de structuri și de amplasamente. Soluția trebuie adaptată fiecărui caz în parte în funcție de caracteristicile dinamice ale structurii, ale terenului pe care reazemă structura și în funcție de perioadele predominante ale inputului seismic.

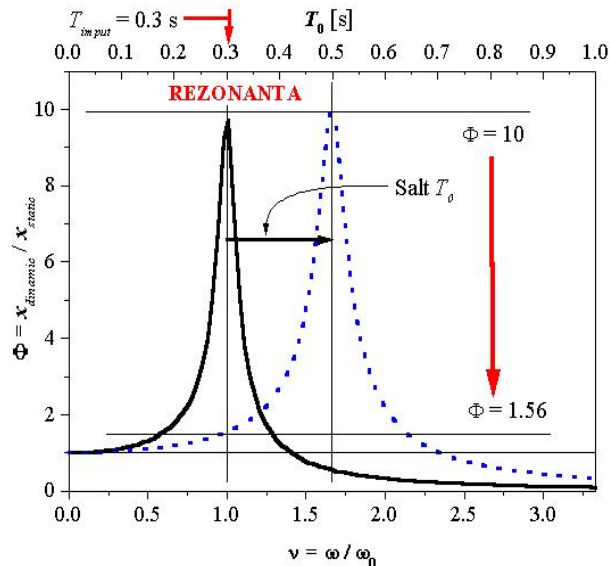


Fig.. 1.2 Amplificarea dinamica

Pentru a ilustra acest deziderat, orientativ, în tabelul 1.1 este dată o clasificare a structurilor, bazată pe perioade predominante aproximative iar în tabelul 1.2 o clasificare a terenurilor de amplasament bazată tot pe determinări aproximative ale perioadelor proprii.

Tabelul 1.1. Clasificarea structurilor, bazată pe perioade predominante aproximative

Structuri	T_0 [s]
Rigide (construcții joase, masive, cu elemente verticale puternice cum sunt: hale parter, P+4, pile, culei, etc.)	0 – 0,7
Semi-rigide (clădiri multietajate din beton armat, silozuri, castele de apă, coșuri de fum, etc.)	0,7 – 1,5
Flexibile (clădiri multietajate cu schelet metalic, turnuri, antene radio, etc.)	> 1,5

Tabelul 1.2. Clasificarea terenurilor de amplasament bazată tot pe determinări aproximative ale perioadelor proprii

Amplasament	T_0 [s]
Roci, depozite aluvionare consolidate	0 – 0,7
Depozite aluvionare slab consolidate	0,7 – 1,5
Depozite aluvionare neconsolidate, umpluturi	> 1,5

Prin compararea acestor date, aproximative, dar nu cu mult depărtate de realitate, rezultă atât aplicabilitatea dar și limitele metodei de izolare a bazei :

- Izolarea bazei este eficientă în cazurile în care poate fi evitată rezonanța cu terenul prin creșterea perioadei proprii a structurii (salt de perioadă pozitiv);
- Candidatele potrivite pentru aplicarea metodei sunt structurile rigide sau semi-rigide la amplasarea lor pe terenuri consolidate;
- Este inutil de a izola o structură cu o perioadă proprie diferită de perioadele predominante ale amplasamentului;
- Aplicarea fără discernământ a izolării bazei, atunci când perioadele proprii ale structurii și terenului sunt distanțate, poate avea un efect contrar scopului, adică poate transfera structura dintr-o zonă sigură într-o zonă periculoasă.

Aplicabilitatea tehnologiei de izolare a bazei este condiționată de prezența a trei deziderate :

- Dacă tehnologia este necesară, necesitate impusă de gradul de încadrare seismică a amplasamentului și de cerințele de funcționalitate post-seismică a clădirii;
- Dacă structura se pretează tehnologiei de izolare a bazei, adică să fie o structură rigidă sau semi-rigidă prevăzută a fi amplasată pe un teren cu perioade predominante scurte iar flexibilitatea introdusă de stratul izolant să nu pună în pericol comportarea la sarcini laterale neseismice (vânt);
- Dacă costul suplimentar dat de introducerea stratului izolant și întreținerea lui este justificat prin economiile realizate din reducerea cerințelor structurale, de reducerea costurilor de reabilitare post-seismică, de reducerea pierderilor materiale și umane.

1.4. Seismicitatea teritoriului României

Zonele din România cu seisme importante care afectează clădiri sunt situate în:

Regiunea Vrancea, cea mai importantă de luat în considerare, cu numeroasele sale cutremure intermediare puternice din secolul XX cu M_w mai mare ca 7 : 10 noiembrie 1940 ($M_w = 7,7$, $M_0 = 5,1 \times 10^{20}$ Nm, $h=150$ km), 4 martie 1977 ($M_w = 7,4$, $M_0 = 1,5 \times 10^{20}$ Nm, $h=109$ km, șocul al treilea), 30 august 1986 ($M_w = 7,1$, $M_0 = 0,6 \times 10^{20}$ Nm, $h=131,4$ km). În legătură cu această regiune nu trebuie uitat nici seismul considerat cel mai puternic din România de la 26 octombrie 1802 ($M_w = 7,9$). O caracteristică importantă a acestor cutremure intermediare o constituie locația focarelor într-un volum limitat și izolat seismic, aflat la adâncimi cuprinse între 70-200 km. Epicentrele acestor cutremure au o dispersie foarte mică înscriindu-se într-o suprafață de de aproximativ 7000 km².

Zona Banatului din vestul țării. Regiunea Banat este considerată a doua zonă din România, după Vrancea, ca importanță din punct de vedere a hazardului și riscului seismic, având în vedere (Oros și Nițoiu, 2000): i) numărul mare de cutremure de pământ produse începând cu anul 1766 (peste 3500); ii) intensități macroseismice maxime observate de VIII MSK asociate unui număr relativ mare de focare; iii) particularitățile seismotectonice regionale (fracturi crustale cu potențial seismic ridicat);

Se observă că sursele de hazard seismic din zona de vest a României se pot grupa în trei sectoare principale:

1) Sectorul de Nord (SN), cu $I_{max.obs} = VII$ MSK; 2) Sectorul Central (SC), cu $I_{max.obs} = VIII$ MSK; 3) Sectorul de Sud (SS), cu $I_{max.obs} = VIII$ MSK.

În zonele învecinate există surse suplimentare de hazard seismic pentru zona de vest României:

Transilvania, $I_{max.obs} = VIII$ MSK (zona Târnavelor și Sibiu – Câmpulung)

Oltenia, $I_{max.obs} = VI$ MSK (Târgu Jiu - Baia de Aramă, Orșova).

Cele mai importante seisme din secolul XX au fost : din anul 1991: Banloc – Voiteg (12 Iulie 1991, $M=5,7$, $IO=VIII$ MSK și respectiv 02 Decembrie 1991, $M=5,6$, $IO=VIII$ MSK) și Băile Herculane – Mehadia (18 Iulie 1991, $M = 5.6$, $IO = VIII$ MSK).

La sursele seismice din zona Banatului, vestul țării s-au constatat pagube modeste în comparație cu avariile produse de sursa Vrancea.

Seisme se produc și în alte zone cum ar fi : Maramureș, Galați, Tulcea etc. dar efectele lor nu pun probleme structurale deosebite.

Am făcut o prezentare succintă a seismicității României și a devastărilor din secolul XX datorate cutremurelor Vranceane comparativ cu alte zone, pentru a trage concluzia că acțiunile de izolare seismică din România sunt cu precădere spre micșorarea vulnerabilității structurilor supuse acțiunii cutremurelor puternice din regiunea Vrancea. În București sunt în prezent încă 40.000 de clădiri construite înainte de 1940 care pot prezenta probleme la un viitor seism puternic.

1.5. Înregistrări seismice datorită sursei din Vrancea

Din înregistrările de seisme puternice din Vrancea se poate observa o dependență a perioadelor fundamentale de oscilație a amplasamentelor și a PGA funcție de magnitudinea seismelor care traversează pachete de strate de diferite grosimi, cum se vede în figurile 1.3 și 1.4, unde sunt date înregistrate la unele stații seismice din București.

Totodată se prezintă și o predicție a creșterii perioadei de oscilație a solului pentru un viitor seism puternic., Fig. 1.3.

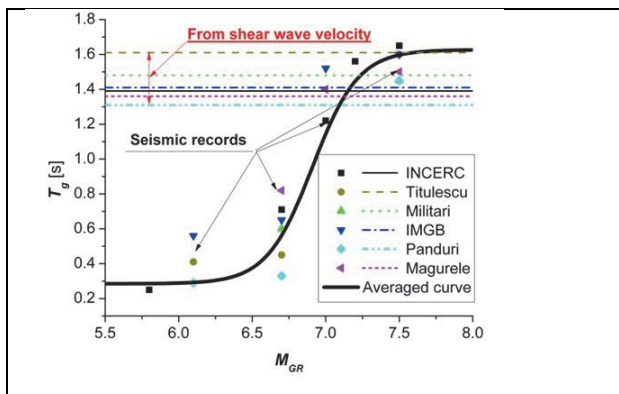


Fig. 1.3

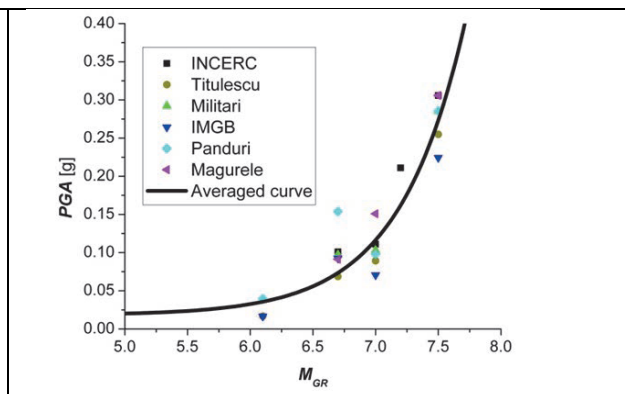


Fig. 1.4

Din aceste figuri rezultă că perioada fundamentală de oscilație a unui amplasament, în timpul unui seism, pe care se va afla sau se află o construcție depinde atât de natura terenului cât și de energia seismului, exemplificată în cazul de față prin magnitudine.

Pentru exemplificare vom prezenta câteva spectre de răspuns pe amplasament în câmp liber a unor seisme puternice din secolul XX.

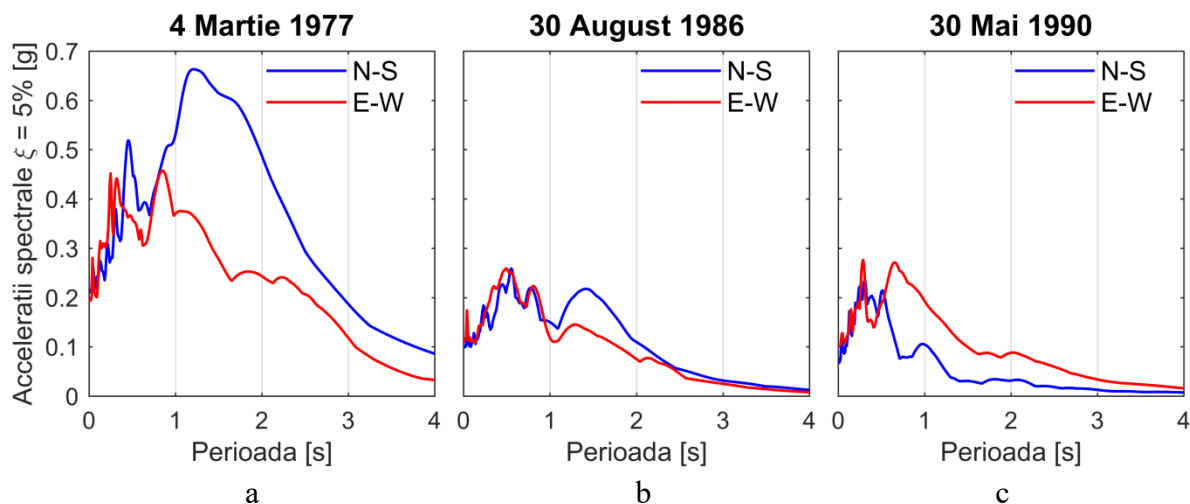


Fig. 1.5. Spectre de răspuns pe amplasament în câmp liber a unor seisme puternice din sec. XX.

În Fig. 1.5 (a,b,c) spectrele pe direcția N-S și E-W a seismelor din 1977, 1986 și 1990.

2. Identificarea clădirilor care pot fi izolate seismic eficient, existente și viitoare, conform parametrilor caracteristici de proiectare

Clădirile nu sunt elemente independente ele se situează într-un amplasament de care depinde în mare măsură comportarea lor la seisme puternice. Celelaltă parte a comportării depinde de clădire.

Izolarea seismică se poate aplica atât i) clădirilor noi (se integrează de la început în proiectare), dar și ii) clădirilor existente (este cerută de soluția de reabilitare). În ambele cazuri, printre alți parametri, este necesar să existe o evaluare pentru perioada fundamentală a fiecărei structuri.

2.1. Perioada fundamentală la clădiri.

- i) Pentru clădirile noi, perioada fundamentală poate fi estimată din calculele de proiectare.
- ii) Pentru cele vechi, pentru a determina perioada fundamentală, pot fi utilizate mai multe metode, bazate pe măsurători de vibrații.

Aceste tehnici sunt de interes pentru zonele predispuse la cutremure, caz în care monitorizarea se realizează prin înregistrări de vibrații ambientale, dar și prin mișcări seismice de mică intensitate, acolo unde există.

Atât pentru clădirile noi, cât și pentru cele vechi, parametrii dinamici calculați pe baza modelelor numerice pot fi validați cu date experimentale. Din punct de vedere practic, valorile acestor parametri pot fi folosite pentru detectarea daunelor sau pot valida faptul că procesul de construcție a respectat regulile prescrise de planul de proiectare. În plus, pentru cazul sistemelor de protecție împotriva cutremurelor (cum ar fi izolarea bazei seismice), îmbunătățirile în ceea ce privește răspunsul structural pot fi cuantificate și performanța izolatorilor poate fi evaluată, pe baza datelor reale. În România, procesul de calculare a perioadei fundamentale a clădirilor folosind senzori seismici câștigă mai multă atenție în ultimii ani, având în vedere că fondul imobiliar constă dintr-o mulțime de tipologii, din perioade de timp diferite și pentru fiecare dintre ele inginerii ar trebui să evalueze pe cât de bine pot parametrii lor dinamici pentru a-i estima răspunsul la cutremure puternice, pentru a preveni colapsul lor și pentru a-și extinde capacitatea de întreținere.

Deci ca să identificăm clădirile care ar necesita o izolare seismică trebuie să începem cu analiza amplasamentului pe care se află sau se vor afla, iar marimea pe care trebuie să o aflăm este perioada naturală de vibrație a amplasamentului. În acest sens se vor prezenta unele din metodele cele mai uzuale de aflare a acestei perioade specifice fiecărui amplasament.

2.2. Metode geofizice pentru determinarea valorilor vitezelor undelor seismice de forfecare (V_s) și pentru determinarea perioadelor dominante ale inputului seismic

2.2.1. Importanța aplicabilității metodelor geofizice

Studiul propagării undelor seismice din focar până la un anumit punct situat în interiorul pământului sau pe suprafața liberă a terenului constituie o problemă fundamentală în seismologie. Principalele aspecte de interes major în legătura cu fenomenul de propagare a undelor seismice într-o anumită zonă sau într-un amplasament delimitat sunt următoarele: variația intensității undelor seismice în funcție de proprietățile fizico-mecanice și dinamice ale mediului de propagare și modificarea răspunsului seismic al structurilor în funcție de caracteristicile de deformabilitate locală ale terenului specifice amplasamentului. De asemenea, importanța condițiilor de amplasament este considerabilă, efectele seismelor asupra

construcțiilor se pot amplifica sau amortiza sensibil față de cele considerate la proiectare dacă nu se iau în considerare toate caracteristicile dinamice ale terenului de fundare și a stratificației pământului deasupra rocii de bază.

Utilizarea metodelor seismice de investigare a terenului s-a dovedit eficace furnizând date a căror interpretare permite evaluarea cantitativă a constantelor elasto-dinamice ale rocilor și pământurilor și aprecieri asupra stării fizice a acestora.

Evaluarea caracteristicilor dinamice ale terenului presupune determinarea vitezelor de propagare a undelor seismice longitudinale (V_p) și transversale (V_s) și a densității pământului (ρ), din care se pot calcula modulusii dinamici de deformare longitudinală (E_d) și transversală (G_d), funcție de deformația specifică γ .

Undele seismice transversale (de forfecare) definesc parametri mișcării care produc cele mai importante efecte dinamice asupra construcțiilor situate la suprafața liberă a terenului.

În general în studiul răspunsului terenului în timpul cutremurelor se acordă importanță undelor seismice de forfecare care sunt puternic influențate de depozitele sedimentare moi cu grosimi de cel mult 100m. Trebuie însă menționat că atunci când se urmărește caracterizarea mișcărilor cu perioade între 1s și 10s, considerarea straturilor de teren de la suprafață nu mai este suficientă. În astfel de cazuri este necesară luarea în considerare a straturilor sedimentare până la “roca de bază seismică”, ceea ce poate însemna grosimi de sedimente care pot avea și kilometri (de exemplu în zona Tokyo 2.5 km, în zona București 800m-1km, etc.).

În cazul unui depozit stratificat, constituit din n straturi cu proprietăți și grosimi diferite, dar omogene, viteza medie ponderată a undelor seismice de forfecare se calculează conform SR EN 1998-1:2004 :

$$\overline{V_s} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Perioada fundamentală a terenului într-un amplasament constituie o mărime importantă în studiul răspunsului seismic prin înregistrarea microundelor care traversează terenul. Perioada fundamentală a unui pachet de „ n ” straturi, de grosime totală H depinde de viteza undelor seismice de forfecare (V_s) și de un coeficient ce ține seama de mărimea accelerației maxime în timpul unui cutremur pe amplasament.

$$T_0 = 4H / V_s$$

Se constată că perioadele predominante sunt directe proporționale cu adâncimea depozitului H și invers proporționale cu viteza de propagare a undelor secundare. Este evident că la adâncimi egale H , perioadele predominante vor fi cu atât mai mici cu cât terenurile vor avea consistența mai mare și grad de compactare mai ridicat.

Cea mai mare amplificare a terenului apare la frecvențe naturale reduse sau frecvența fundamentală, care corespunde cu perioada caracteristică a terenului (amplasament). Măsurători in situ ale vitezelor undelor de forfecare ale terenului și ale grosimii asigură determinarea directă a perioadei caracteristice a terenului.

2.2.2. Studii bazate pe măsurători geofizice în România

Măsurătorile geofizice în România s-au dezvoltat în ultimii zece ani, în principal, prin promovarea măsurătorilor tip down-hole, în foraje finanțate în cadrul unor colaborări interne și externe. Profilul undelor seismice a devenit începând cu anii ‘90 un criteriu de proiectare în codurile seismice avansate.

Numeroase foraje și teste down-hole au fost efectuate în ultimii zece de ani în regiunea metropolitană București de către UTCB, INCERC, GEOTEC S.A., CNRRS și de alte instituții.

Astfel la INCERC s-au făcut trei foraje de referință: INCERC 1 la 50m adâncime, INCERC 2 la 70 m adâncime și INCERC 3 la 205 m adâncime (în 1998 cu finanțare română (UTCBS) și germană în cadrul programului comun germano-roman de cercetare SFB 461, “Cutremurele puternice: o provocare pentru geotehnică și ingineria civilă”, al Universitatii Karlsruhe) Acest foraj a fost instrumentat de INCERC și SEISCOM S.R.L. cu un accelerometru digital românesc ADS-3061 cu senzori la suprafață (3 senzori S5S pentru viteza) și la 178m adâncime (3 senzori SUNDSTRAD pentru accelerație).

Cele mai recente cercetări au fost realizate în cadrul proiectului Science for Peace Project 981882 – ”Site-effect analyses for the earthquake-endangered metropolis Bucharest, Romania” (2007 -2009), un consorțiu format dintre INCDFP și Universitatea din Karlsruhe (Collaborative Research Center 461 “Strong Earthquakes), la proiect și-a adus contribuția și UTCB.

În cadrul proiectului pentru studiul subsolului Metropolei București și culegerea de date în zone puțin sau ne explorate până acum s-au efectuat 10 foraje cu adâncimea de 50 m în care s-au efectuat 10 măsurători downholw pentru V_p și V_s . Din cele 10 foraje s-au extras probe de pământ tulburate și ne tulburate (în număr de 400) pe care s-au efectuat investigații geotehnice statice și dinamice.

Din datele culese prin acest proiect s-a efectuat o hartă V_s30 a orașului București. INCDFP și-a adus contribuția și la alte hărți care exemplifică variația perioadei fundamentale pe teritoriul Municipiului București.

2.3. Clădiri izolate seismic în București

Clădirile izolate seismic în prezent din București, cu caracteristicile lor sunt prezentate în Tabelul 2.1. Aceste clădiri sunt ținute permanent sub observație seismică prin accelerometre așezate la diferite niveluri (vezi tabelul 2.1).

Aparatura de monitorizare seismică este în grija INCDFP.

Tabel 2.1 Clădiri izolate seismic în București (caracteristici generale)

Nr.	Locația	Adresa	Număr stații	Nr. etaje	An construcție	Sistem structural
1	Primăria Generală a Municipiului București	București; Bulevardul Regina Elisabeta nr. 47	4 accelero-metre, în timp real, parter, etaj 2, 3 și mansardă, de remarcat că toți sunt plasați deasupra sistemului de amortizare seismică a clădirii.	S+P+ 3E+ Ma	1906, Clădirea a fost consolidată după 2010 și a fost dotată cu izolatori seismici la subsol	Zidărie de cărămidă cu planșee de beton armat cu chesoane întoarse
2	Arcul de Triumf	București; Piața Arcul de Triumf	2 accelerometre, unul la parter și unul pe arc la cota superioară, datele se transmit în timp real		1921	Beton, zidărie
3	Clădirea Victor Slăvescu, Academia de Științe Economice	București; Calea Griviței 2-2A	este monitorizată cu două accelerometre off -line și sunt situate la subsol sub/deasupra izolatoarelor seismice;	S+P+ 2E+ Ma	1905	Zidărie de cărămidă cu acoperiș tip șarpantă

Prima clădire izolată seismic în București a fost clădirea ASE

2.4. Cerințe de proiectare la clădirile ce vor fi izolate seismic

Dispozitivele de izolare trebuie să fie proiectate cu o fiabilitate crescută. Acest lucru se realizează prin aplicarea unui factor de siguranță (γ_x) pentru acțiunea seismică aplicată pe fiecare unitate izolatoare. Valoarea recomandată este $\gamma_x = 1,2$.

Pentru a se conforma tuturor cerințele fundamentale ale P100-1/2016 următoarele criterii (selecție) trebuie respectate în stările limită ale structurii:

1. Menținerea în domeniul elastic a infrastructurii în timpul solicitărilor.

2. Pentru a ne menține în aceste limite deplasările între etaje la suprastructură nu trebuie să depășească recomandările din secțiunea 4 din P100-1/2013. Același lucru este valabil și la infrastructură. Acest lucru duce la faptul când se atinge starea limită de rezistență sistemul de izolare este solicitat la maximum pe când structura și infrastructura rămân în domeniul elastic. Acest lucru duce la evitarea unui calcul de ductilitate a elementelor structurii.

3. Toate trecerile de instalații (gaze, apă, canalizare, electricitate) dintre structura izolată și teren trebuie să fie proiectate în așa fel încât să suporte deplasările sistemului izolat la producerea unui seism maxim luat în calcul.

Alte elemente de considerat :

- Realizarea prin proiectarea inițială a unui spațiu suficient între partea de deasupra sistemului izolant și parte pe care acesta se sprijină pentru inspecția elementelor izolatoare, reparații, înlocuiri, etc.
- Controlul mișcărilor din timpul seismelor (aleatorii necontolate). Pentru a minimiza efectele de torsiune, centrul de rigiditate efectivă și centru de amortizare a structurii trebuie poziționat cât mai aproape de centrul de masă de pe suprafața de izolare. Sistemul de izolare trebuie proiectat astfel încât șocurile și potențialele mișcări torsionale pot fi controlate folosind elemente adecvate, cum ar fi amortizoarele, amortizoare de șocuri de diverse tipuri, etc.
- Valorile fizice și proprietățile mecanice ale sistemului de izolare utilizate în analize să fie cele mai nefavorabile care ar putea fi atinse în durata de viață a structurii. Aceasta înseamnă că accelerațiile și forțele de inerție induse de cutremur trebuie evaluate ținând cont de valoarea maximă a rigidității sistemului și de valoarea minimă de amortizare și frecare. Deplasările trebuie evaluate ținând cont de valoarea minimă de rigiditate, amortizare și coeficienți de frecare.
- Dacă sistemul izolator nu poate fi reprezentat de un model liniar echivalent, răspunsul sistemului trebuie evaluat printr-un calcul dinamic, utilizând legi constitutive pentru izolatori care să poată reproduce comportarea sistemului în domeniul deformațiilor și vetezelor anticipate în ipoteza de proiectare seismică,
- La elementele nestructurale, pe lângă calculul clasic din norme se va lua în considerare și efectele dinamice ale izolării,
- Infrastructura se va verifica la forțele de inerție aplicate direct asupra acesteia și la forțele și momentele transmise de sistemul izolator,

Funcție de tipul de dispozitiv considerat rezistența elementelor izolatoare se evaluează la starea limită ultimă fie în funcție de :

- i) Valorile maxime ale forțelor orizontale și verticale în situația de proiectare la seism, inclusiv efectul de răsturnare, ori, funcție de,
- ii) Deplasarea orizontală totală între fețele superioară și inferioară a dispozitivului. Deplasarea orizontală totală include distorsiunea datorată acțiunii seismice de proiectare și efectele contracției, curgerii lente, temperaturii și postcomprimării (la elemente de beton precomprimat).

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 tinte stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

Rezultate:

- Un rezultat de ansamblu al proiectului realizat este un studiu multidisciplinar de seismologie și elemente de inginerie seismică pentru a prezenta situațiile când este eficientă folosirea procedurii de izolare seismică a bazei unei structuri pe teritoriul României.

- Rolul terenului și analiza caracteristicilor acestuia care trebuie luați în considerare în analiza și proiectarea izolării seismice a structurilor;
- Analiza accelerogramelor seismelor puternice din secolul XX din lumina proiectării soluțiilor de izolare seismică. Se observă foarte clar *variația invers proporțională* a perioadei fundamentale a masivului de pământ pe care se află/se va afla construcția cu magnitudinea evenimentului seismic;
- Prezentarea clădirilor izolate seismic din București, cu caracteristicile lor importante (soluția s-a aplicat la clădiri construite deja pentru protejarea lor la viitoare seisme puternice).
- Rezultă din succinta enumerare de mai sus, că aplicabilitatea izolării seismice a clădirilor este restrânsă la regiunile cu potențial seismic ridicat și condiționată de situațiile de natură tehnică impuse de caracteristicile dinamice ale structurii și amplasamentului. Este evident că odată realizate aceste condiții, tehnologia de izolare a bazei are și justificare economică chiar dacă ne referim numai la costurile materiale și nu introducem în calcul pierderile umane.
- De menționat că în cazul podurilor introducerea unor izolatori seismici în locul celor convenționali folosiți pentru evitarea tensiunilor date de modificările termice este extrem de ușoară și eficientă. Cum costurile izolatoarelor convenționale reprezintă un mic procent din costul total, diferența de preț este neglijabilă iar avantajele obținute sunt mari.

Stadiul realizării obiectivului fazei

Indicatori: Prin rezultatele prezentate referitoare la crearea unei baze de dete din accelerograme pe unele clădiri din România, prin prezentarea principiilor izolării seismice, prin identificarea principalelor mărimi geofizice și ingineresti de care depinde alegerea soluției de izolare seismică a unei clădiri existente sau viitoare, 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.

Concluzii

- Lucrarea prezintă o serie de date importante de seismologie inginerescă (legate de amplasante și construcții) necesare înțelegerii metodei izolării seismice a clădirilor prezente/viitoare.
- Principiul de bază în proiectarea izolării seismice a unei structuri este de a decupla, de a evita rezonanța dintre structură și terenul de fundare în cazul unui seism puternic, (în cazul României, sursa Vrancea);
- Sublinierea sursei seismice Vrancea, singura de pe teritoriul României, pentru care este eficientă proiectarea și execuția izolării seismice a bazei structurii. Celelalte surse seismice de pe teritoriul țării, deși pot produce pagube locale, nu se pretează acestui procedeu;
- Tehnologia de izolare a bazei este mult mai eficientă dacă este prevăzută încă din stadiul de proiectare a unor structuri ce urmează a fi realizate. În acest caz, pot fi realizate economii la costurile inițiale ale sistemului structural și economii de timp iar realizarea sistemului izolant este mult mai ușoară. Dacă tehnologia este prevăzută a fi aplicată unor structuri existente pot apărea complicații date de implantarea stratului izolant și de modificarea comportării sistemului structural, dar aceste impedimente nu sunt insurmontabile.
- Analiza seismicității teritoriului României ne face să tragem concluzia că metoda izolării seismice este eficientă din punct de vedere al micșorării vulnerabilității clădirilor și financiar numai pentru cutremurele Vranceane puternice de magnitudine (M_w) peste 7.

Propuneri pentru continuarea proiectului:

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

Având în vedere caracterul multidisciplinar și complex al subiectului tratat *considerăm necesară continuarea proiectului* cu următoarele subiecte :

- Nominalizarea tipurilor de izolatori seismici optimi pentru seismele Vranceane puternice;
- 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);
- Protejarea clădirilor de patrimoniu și monumentelor istorice prin acest demers de creștere a rezilienței la acțiuni seismice puternice, prin posibile izolări a acestora.

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

Articole publicate:

Balan S.F., Apostol F.B. ”**Urban Researcher for Seismic Risk Mitigation in Bucharest City Area**”, Agriculture For Life International Conference, 4-6 June 2020, Bucharest. Lucrarea va fi publicată în revista ”Scientific Papers. Serie E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering”, (ISI)

Tiganescu Al., Craifaleanu I.G., and Balan S.F. ”**Short-term evolution of dynamic characteristics of a RC building under seismic and ambient vibrations**”, Publicată în IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://www.e3s-conferences.org/> . (ISI).

Tiganescu A., Craifaleanu I.G. and Bălan S.F. ”**Dynamic parameters of a RC building extracted from earthquake data using the Random Decrement Technique**” - Publicată în IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.(ISI)

Prezentări la conferințe:

Balan S.F., Apostol B.F., ”**POSSIBILITIES TO REDUCE SEISMIC VULNERABILITY ON PRESENT AND FUTURE BUILDINGS IN THE CONTEXT OF USING SEISMIC BASE ISOLATION IN ROMANIA**”, V International Congress on Risks, Coimbra, Portugal, rezumat acceptat, (Congres amânat din cauza pandemiei).

Apostol B.F., Balan S.F., ”**TOWARDS URBAN RISK MITIGATION USING SOIL RESPONSE SPECTRAL ANALYSIS**”, V International Congress on Risks, Coimbra, Portugal, rezumat acceptat, (Congres amânat din cauza pandemiei).

Balan S.F., Tiganescu A., Ionescu C., Apostol B.F., ”**BUILDING SAFETY THROUGH SEISMIC MONITORING**”, Paper No. : C002553, Rezumat acceptat la 17 World Conference of Earthquake Engineerin, Sendai, Japonia/2021.

Balan S.F., Țigănescu Al., Apostol F.B., ”**Structure Response Analysis of the Seismic Isolated Buildings in Bucharest City**”, "6-thWorld Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS", 6-11 Sept. Prague. Lucrare prezentată și publicată în proceedings. (va fi indexată ISI)

Tiganescu A., Toma-Danila D , Grecu B., Craifaleanu I.G., Balan S.F., Dragomir C.S., **”CURRENT STATUS AND PERSPECTIVES ON SEISMIC MONITORING OF STRUCTURES AND RAPID SEISMIC LOSS ESTIMATION IN ROMANIA”** Proceedings of 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering, 1CroCEE Zagreb, Croatia - March 22nd to 24nd, 2021 Edited by Laksusic, S. and Atalic, J. Copyright © 2021 CroCEE

Tiganescu, A., Grecu, B., Craifaleanu, I.-G., Toma-Danila, D., and Balan, S.-F.: **”Long-term structural monitoring of multi-story RC structures, based on data extracted from ambient noise and earthquake vibrations”**, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-13050, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13050>, 2021.

Bălan S.F., Apostol F.B., Țigănescu A., **”SOIL CONDITIONS AND STRUCTURAL TYPOLOGIES FOR SEISMIC ISOLATION OF BUILDINGS, IN CITIES EXPOSED TO STRONG EARTHQUAKE HAZARD”** Lucrare acceptată spre prezentare la conferința internațională ”Agriculture for Life, Life for Agriculture”, iunie 2021, București. (se va publica într-o publicație ISI).

Responsabil Fază

Dr. Ing. Ștefan Florin Bălan

Director proiect,

Dr. Iren Adelina Moldovan