

Anexa nr. 10 la Contract nr. 31N/2018

Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului (I.N.C.D.F.P.)
Cod fiscal : 5495458 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr. /.....)

De acord,
DIRECTOR GENERAL

Dr. ing. Constantin Ionescu

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM

Prof. dr. Mircea Radulian

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 31N/2019

Proiectul PN 19 08 01 02: Cercetări avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul României în contextul interacțiunii multiple litosferă, hidrosferă, atmosferă, ionosferă.

Faza 7i: Caracteristici spectrale ale mișcării seismice a terenului, produse de cutremurele subcrustale vrâncene 2020

Termen de încheiere a fazei: 9 decembrie 2019

1. Obiectivul proiectului:

Proiectul propune o investigație multidisciplinară, complexă și intercorelată a fenomenelor care au loc în sistemul cuplat Litosferă-Hidrosferă-Atmosferă-Ionosferă, pentru modelarea fenomenelor tectonice și a proceselor seismice și identificarea relației spațio-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 Pământului. Proiectul urmărește totodată și modelele de propagare ale undelor seismice și estimarea efectelor acestora la suprafața Pământului, prin calcularea/măsurarea deformărilor 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 litosferă, hidrosferă, atmosferă și ionosferă 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 Pământului le ridică, în vederea creșterii rezilienței la cutremure.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului: 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 a undelor seismice și estima efectele acestora la suprafața Pământului prin calcularea/măsurarea deformărilor 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 aproape în timp real și pentru scenarii reprezentative. Calculul parametrilor sursei tip faliere, estimarea activității seismice se vor realiza prin parametrizări stohastice ale 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.

3. Obiectivul fazei:

Analiza caracteristicilor spectrale ale mișcării seismice a terenului, produse de cutremurele subcrustale vrâncene puternice și moderate

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- Spectre de accelerație pentru cutremurele subcrustale vrâncene cu magnitudine $M_w \geq 4.0$.
- Dependența frecvențelor dominante ale accelerației terenului de magnitudinea cutremurelor.
- Variațiile spațiale ale frecvențelor dominante ale accelerației terenului, în relație cu condițiile locale din amplasamentele stațiilor seismice.

5. Rezumatul fazei

În general, caracteristicile mișcării seismice a terenului într-un amplasament sunt determinate de (i) particularitățile sursei seismice (magnitudine, mecanism focal, cădere de tensiune), (ii) propagarea undelor de la sursă la amplasament (distanța focală, proprietățile fizice ale mediului de-a lungul traiectoriei de propagare) și (iii) efectele locale (geologia locală).

Conținutul de frecvențe al mișcării seismice a terenului este un parametru important pentru aplicațiile ingineresti.

Conținutul de frecvențe afectează puternic caracteristicile răspunsului unei structuri, mișcarea terenului fiind cel mai puternic amplificată atunci când conținutul său de frecvențe și frecvențele naturale ale structurii sunt apropiate.

Pentru cutremurele vrâncene subcrustale cu magnitudine $M_w \geq 4.0$ s-au calculat spectrele Fourier ale înregistrărilor de accelerație, o atenție specială fiind acordată evenimentelor cu magnitudine $M_w \geq 6.0$, datorită potențialului lor distructiv.

Datele utilizate pentru evenimentele puternice de la sfârșitul secolului XX – 4 martie 1977 (M_w 7.4), 30 august 1986 (M_w 7.1), 30 mai 1990 (M_w 6.9) și 31 mai 1990 (M_w 6.4) – sunt cele disponibile în arhiva INCDFP, obținute prin digitizarea și aplicarea corecției de instrument înregistrărilor pe film realizate cu accelerografe de tip SMA-1.

Pentru evenimentele produse în perioada 2000-2008 s-au utilizat înregistrările digitale furnizate de rețeaua de accelerometre Kinematics K2, iar pentru cutremurele recente (produse după 2008) s-au utilizat datele colectate de actuala rețea seismică digitală a INCDFP.

Frecvența dominantă a mișcării terenului într-un amplasament este determinată de magnitudinea cutremurului (prin spectrul sursei), de distanța de la sursă la amplasament (datorită dependenței de frecvență a atenuării) și de efectele locale la amplasament (care pot duce la amplificarea sau reducerea semnalului la anumite frecvențe particulare).

Figurile 1-4 ilustrează distribuția spațială a accelerației maxime a terenului *PGA* (s-a luat în considerare cea mai mare valoare dintre cele două componente orizontale) și distribuția spațială a frecvenței dominante a accelerației înregistrate (s-a considerat componenta orizontală cu cea mai mare valoare a *PGA*), pentru cele mai mari cutremure vrâncene pentru care avem disponibile înregistrări de mișcări puternice (accelerograme).

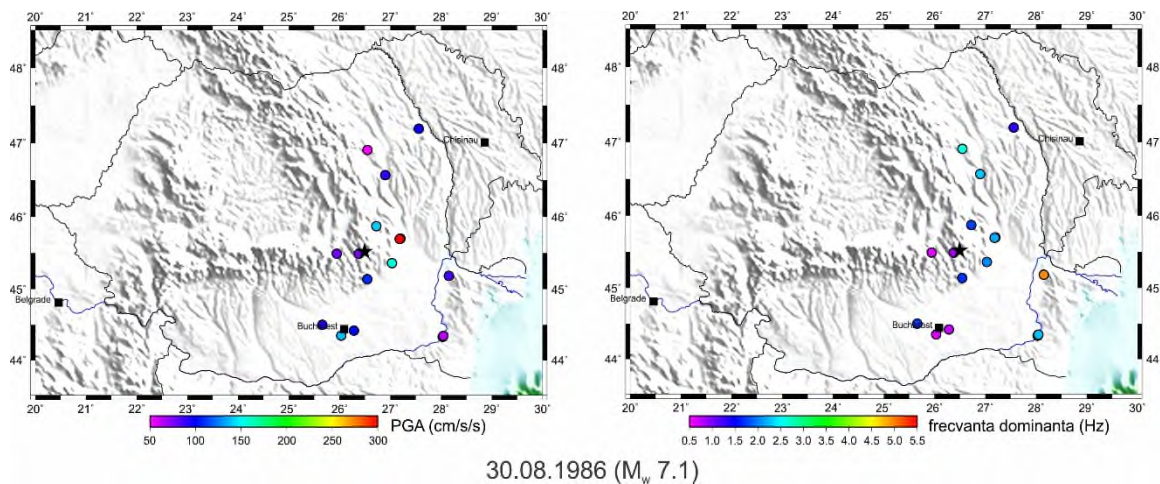


Fig. 1. Distribuția accelerației maxime a terenului *PGA* (stânga) și a frecvenței dominante a accelerației (dreapta) pentru evenimentul din 30 august 1986.

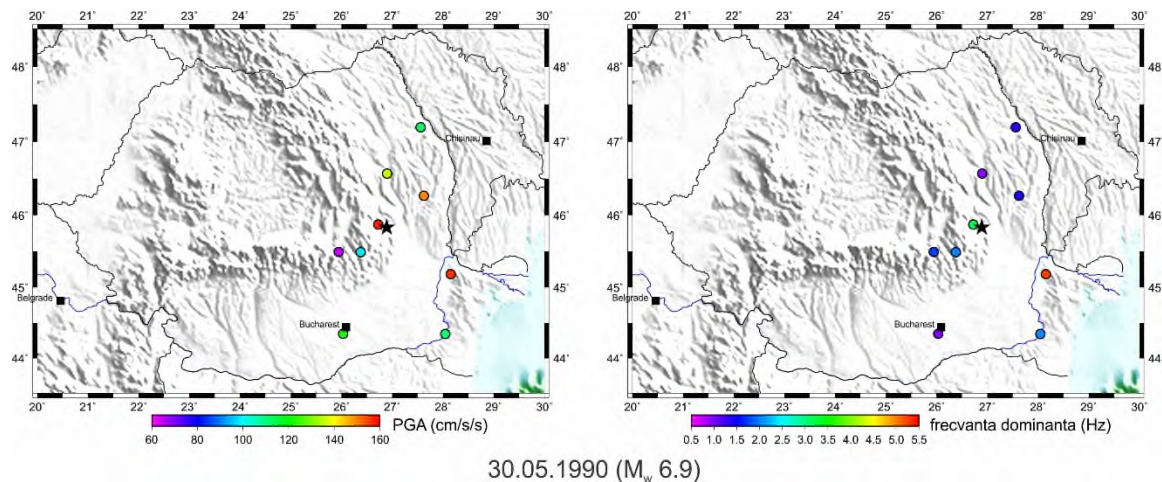


Fig. 2. Distribuția accelerației maxime a terenului PGA (stânga) și a frecvenței dominante a accelerației (dreapta) pentru evenimentul din 30 mai 1990.

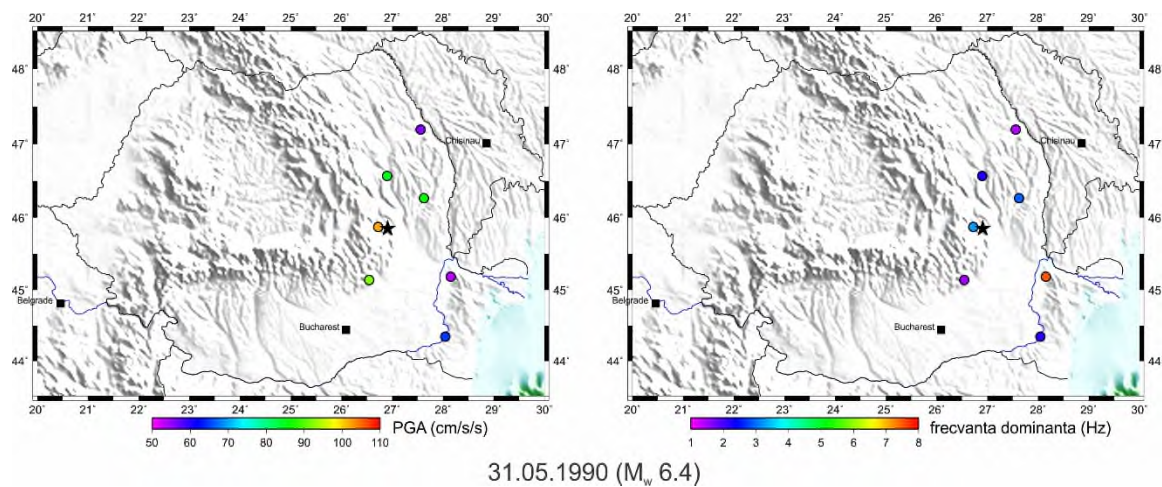


Fig. 3. Distribuția accelerației maxime a terenului PGA (stânga) și a frecvenței dominante a accelerației (dreapta) pentru evenimentul din 31 mai 1990.

Fig. 5 prezintă frecvența dominantă a accelerației înregistrate funcție de distanța focală, pentru evenimentele vrâncene cu magnitudine $M_w \geq 6.0$.

În ciuda numărului mic de date și a unor împrăștiuri semnificative (determinate de efectele locale și de variațiile laterale ale atenuării inelastice), se poate observa o tendință de scădere a frecvenței dominante cu distanța.

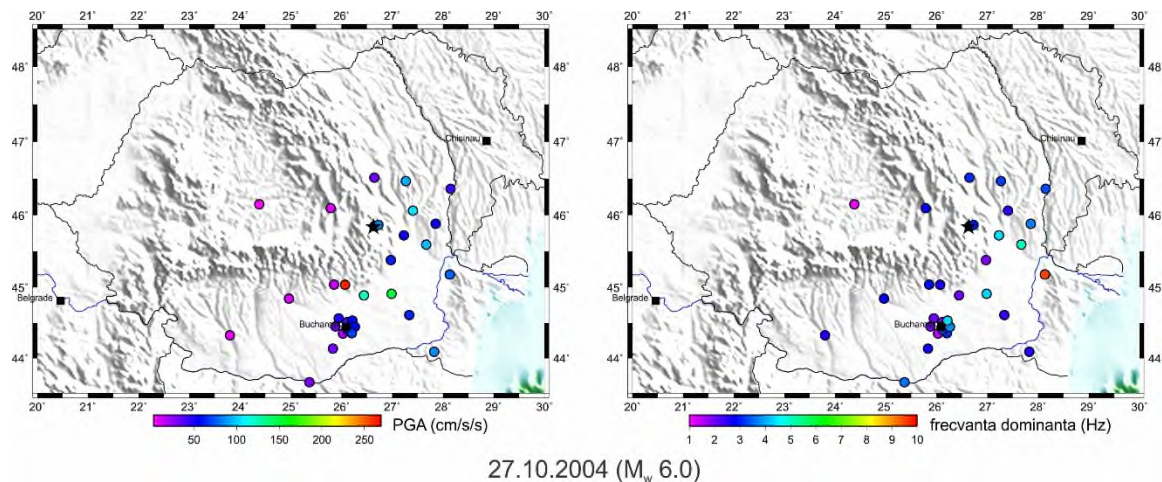


Fig. 4. Distribuția accelerației maxime a terenului PGA (stânga) și a frecvenței dominante a accelerației (dreapta) pentru evenimentul din 27 octombrie 2004.

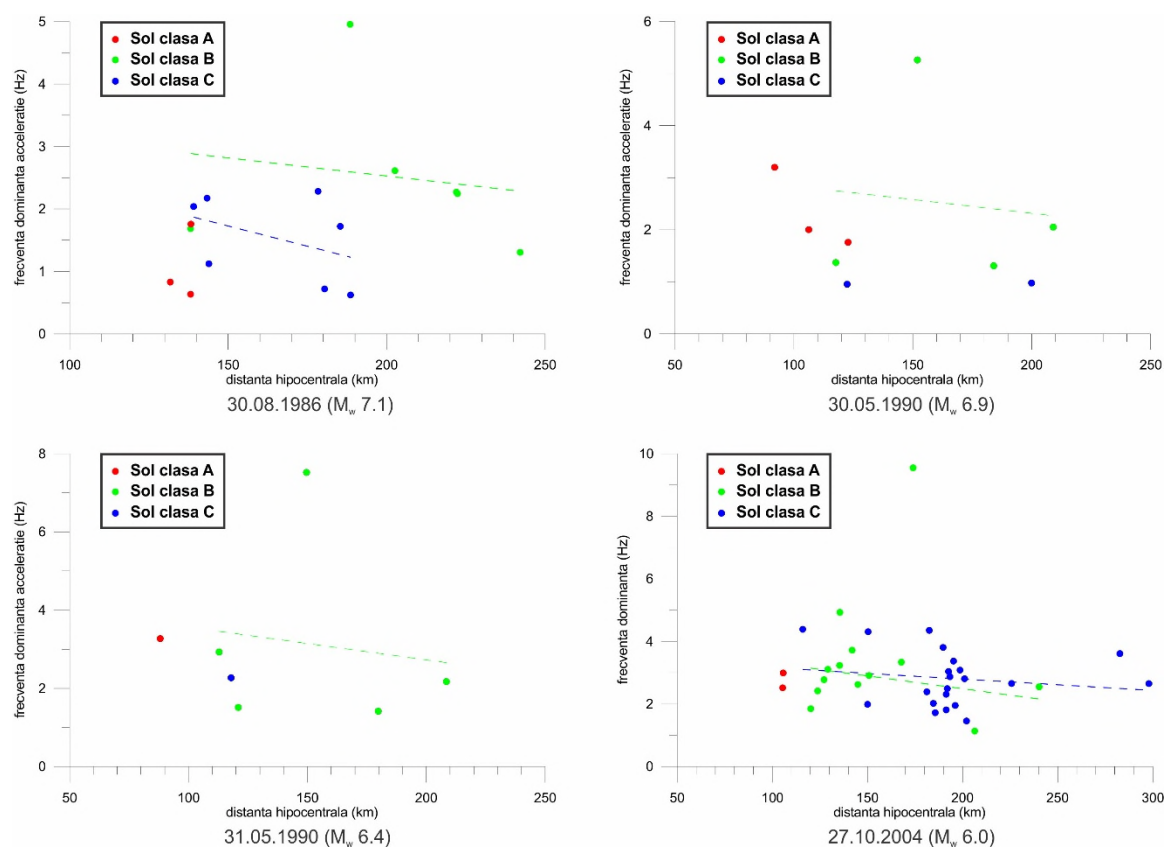


Fig. 5. Frecvența dominantă a accelerației funcție de distanța hipocentrală, pentru cutremurele subcrustale cu magnitudine $M_w \geq 6.0$ (clasificarea solurilor după Văcăreanu et al., 2015).

Pentru cutremurele mai mici ($M_w < 6.0$) scăderea frecvenței dominante a accelerației cu distanța este mai bine evidențiată. Aceasta se datorează prezenței frecvențelor mai joase la

evenimentele mari – datorită unei dimensiuni mai mari a sursei – combinată cu o atenuare mai mică a frecvențelor joase comparativ cu frecvențele înalte.

Spectrele accelerațiilor înregistrate includ efectele cumulate ale sursei, traiectoriei și geologiei locale.

Pentru cuantificarea influenței spectrului sursei, s-a analizat variația cu mărimea cutremurelor a frecvenței dominante a accelerației în amplasamente.

Fig. 6 prezintă rezultatele pentru stații la care sunt disponibile înregistrări ale tuturor evenimentelor cu magnitudine $M_w > 6$ (evenimente la care ne așteptăm ca amprenta sursei să fie pregnantă).

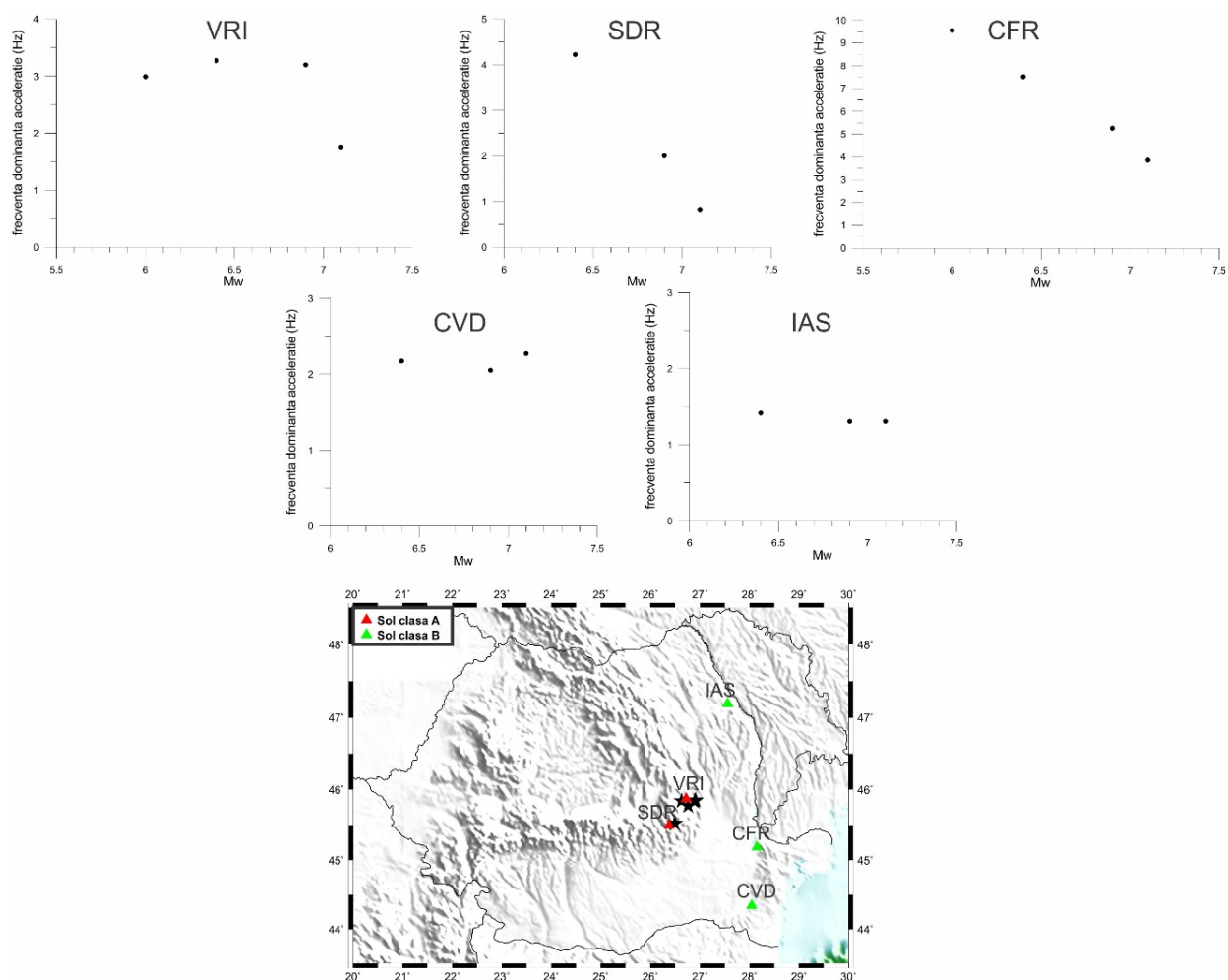


Fig. 6. Dependența frecvenței dominante a accelerației terenului de magnitudinea cutremurelor, pentru amplasamentele care au înregistrat toate evenimentele cu magnitudine $M_w > 6$ (sus) și geometria surse – amplasamente (jos): triunghiuri – stațiile seismice, stele – epicentrele cutremurelor. Clasificarea solurilor – după Văcăreanu et al. (2015).

Se constată că efectele sursei sunt semnificative la stațiile cu distanțe epicentrale mici, în timp ce la distanțe epicentrale mari influența sursei este redusă. Astfel, pentru stațiile CVD și IAS,

frecvențele dominante au valori similare pentru cele 3 evenimente cu magnitudini M_w 7.1, 6.9 și respectiv 6.4, indicând că efectele datorate surselor sunt dominate de efectele de propagare și locale.

O analiză similară este prezentată în Fig. 7 pentru stațiile din București și zona înconjurătoare.

Deși datele disponibile sunt puține și provin din locații diferite – implicând o împrăștiere mai mare datorită unor variații ale condițiilor locale – influența spectrului sursei asupra frecvenței dominante a accelerației este evidentă.

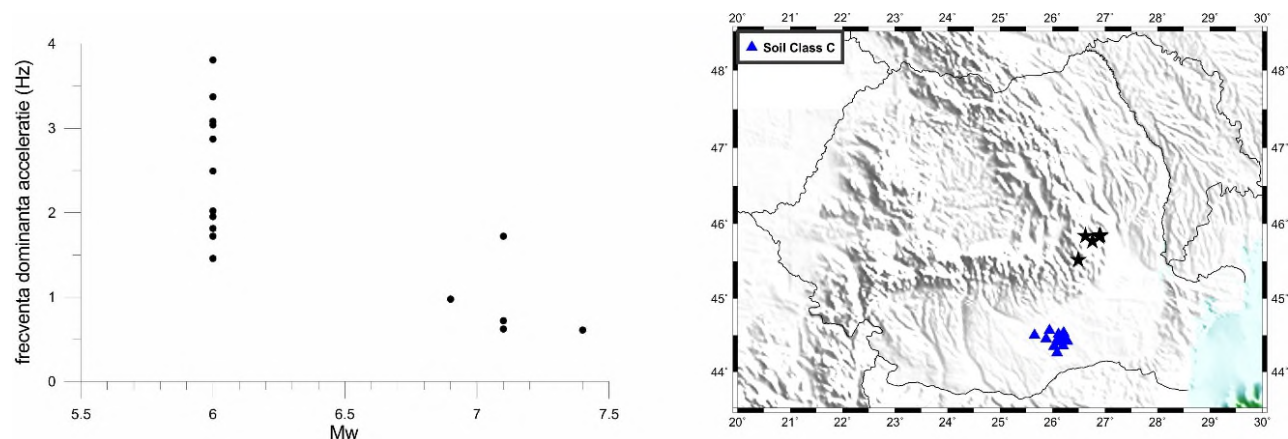


Fig. 7. Dependența frecvenței dominante a accelerației terenului de magnitudinea cutremurelor, pentru amplasamente din București și aria înconjurătoare (stânga) și geometria surse – amplasamente (dreapta): triunghiuri – stațiile seismice, stele – epicentrele cutremurelor. Clasificarea solurilor – după Văcăreanu et al. (2015).

Rezultatele studiului subliniază, de asemenea, efectul semnificativ al condițiilor locale asupra frecvenței dominante a accelerației terenului în amplasamente.

Analiza înregistrărilor disponibile ale cutremurelor vrâncene subcrustale arată că, pentru amplasamentele situate în zona Extracarpatică, la distanțe epicentrale de până la 200 km, frecvențele dominante ale accelerației terenului variază, în general, între 0.6 și 2.5 Hz pentru cutremurele cu magnitudine $M_w \geq 7.0$ și între 1 și 3.5 Hz pentru evenimentele cu $6.0 < M_w \leq 7.0$. Cutremurele subcrustale cu magnitudini între 5 și 6 produc, în general, accelerații cu frecvențe predominante în intervalul 2 – 6 Hz.

Bibliografie

Vacareanu R., Radulian M., Iancovici M., Pavel F., Neagu C. (2015) Fore-arc and back-arc ground motion prediction model for Vrancea intermediate depth seismic source, *J. Earthq. Eng.*, **19**, 535-562.

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 țintele stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

Rezultate:

- spectre de accelerație pentru cutremurele subcrustale vrâncene puternice și moderate (magnitudine $4.0 \leq M_w \leq 7.4$).
- o analiză a distribuției spațiale a frecvențelor dominante ale accelerației terenului, generate de cutremurele vrâncene de adâncime intermediară, cu magnitudine $M_w \geq 4.0$.
- o analiză a variației frecvențelor dominante ale accelerației terenului cu mărimea cutremurelor.

Țintele stabilite au fost atinse, iar proiectul a atins gradul de implementare prevăzut pentru această fază.

Indicatori:

- prezentări la manifestări științifice internaționale:

(I) A 27-a Adunare Generală a Uniunii Internaționale de Geodezie și Geofizică (IUGG), 8 – 18 iulie 2019, Montreal, Canada:

- Ardeleanu L., *Seismic wave attenuation in the Southeastern Carpathian Bend region*
- Ardeleanu L., Ionescu C., Neagoe C., *Empirical relationships between macroseismic intensity and engineering ground-motion parameters for the strong undercrustal earthquakes of Vrancea (Romania)*

(II) Al 5-lea Simpozion Mondial Multidisciplinar în Științele Pământului (WMESS), 9 – 13 septembrie 2019, Praga, Republica Cehă:

- Moldovan I. A., Constantin A. P., Ardeleanu L., Ionescu C., Grecu B., Manea L. M., Toma Dănilă D., Toader V. E., Partheniu R., Manea E. F., Țigănescu A., Plăcintă A. O., *Macroseismic intensity estimation from instrumental ground motion recordings in the case of small and moderate Vrancea subcrustal earthquakes*

(III) Reuniunea Grupului de Lucru al Experților Evaluatori de Risc Seismic, Organizația Comunității Economice a Mării Negre (BSEC), 5 noiembrie 2019, Istanbul, Turcia:

- Cioflan C.O., Toma Dănilă D., Manea E. F., *Near real time impact assessment of strong earthquakes in Romania*

- participări la întruniri științifice internaționale:

(I) Întâlnire a proiectului european Sistemul de Observare a Plăcii Europene (EPOS) – Observatoare apropiate de Falii (NFO), 10-13 noiembrie 2019, Postojna, Slovenia:

- participant: Mărmureanu A.

(II) Întâlnire a consorțiului european Infrastructura de Cercetare a Dinamicii Atmosferei (ARISE), 1 – 5 decembrie 2019, Lillestrom, Norvegia:

- participanți: Ghica D., Popa M.

- un articol trimis pentru publicare:

- Ardeleanu L., Neagoe C., Ionescu C., Empirical relationships between macroseismic intensity and instrumental ground-motion parameters for the intermediate-depth earthquakes of Vrancea region, Romania, *Natural Hazards*

Stadiul realizării obiectivului fazei:

- În această etapă, obiectivul fazei a fost realizat integral.

Concluzii:

Pentru cutremurele subcrustale vrâncene puternice și moderate s-au calculat spectrele de accelerație, s-a analizat distribuția spațială a frecvențelor dominante ale accelerației și variația frecvențelor dominante în relație cu mărimea cutremurelor.

S-a observat o scădere a frecvenței dominante a accelerației terenului cu distanța amplasamentului față de focarul cutremurului, tendință mai vizibilă pentru cutremurele moderate ($M_w < 6.0$).

S-a constatat o influență semnificativă a spectrului sursei în amplasamentele situate la distanțe epicentrale mici.

În etapa următoare a acestei faze se vor calcula spectrele de viteză și deplasare pentru cutremurele vrâncene cu magnitudine $M_w \geq 4.0$ și se vor determina frecvențele dominante ale vitezei terenului în amplasamente. Vor fi analizate variațiile spațiale ale frecvențelor dominante ale vitezei și dependența acestora de magnitudinea cutremurelor. De asemenea, va fi studiată influența frecvenței dominante a accelerației terenului asupra intensității macroseismice observate.

Responsabil proiect

Dr. Iren Adelina Moldovan