

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 7f: Caracteristici spectrale ale mișcării seismice a terenului, produse de cutremurele subcrustale vrâncene

Termen de încheiere a fazei: 2020

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 capabilităților 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:

- Influența frecvenței dominante a accelerației terenului asupra intensității macroseismice în amplasamente (pentru nivele de intensitate definite prin pagube structurale – $I \geq 5$).
- Spectre de viteză și deplasare pentru cutremurele subcrustale vrâncene puternice și moderate ($M_w > 4$).
- Variații spațiale ale frecvenței dominante a vitezei terenului.
- Dependența frecvenței dominante a vitezei terenului de magnitudinea cutremurelor.

5. Rezumatul fazei

Caracteristicile spectrale ale mișcării seismice a terenului într-un amplasament sunt determinate atât de caracteristicile sursei seismice care le-a generat, cât și de distanța sursă – amplasament, de caracteristicile structurale ale mediului de propagare de la sursă la amplasament și de geologia locală în amplasament.

Efectele macroseismice ale cutremurelor puternice, cuantificate prin intensitatea macroseismică, au fost corelate cu nivelul maxim al mișcării seismice a terenului, fiind propuse numeroase ecuații empirice care leagă intensitatea macroseismică de accelerația maximă (PGA).

O astfel de relație a fost obținută recent pentru zona extracarpatică utilizând datele disponibile în arhiva digitală a INCDFP, colectate de la 5 cutremure semnificative produse în ultima jumătate de secol (4 martie 1977, M_w 7.4; 30 august 1986, M_w 7.1; 30 mai 1990, M_w 6.9; 31 mai 1990, M_w 6.4; 27 octombrie 2004, M_w 6.0) (Fig.1a).

În studiul de față am investigat influența caracteristicilor spectrale ale mișcării seismice a terenului asupra efectelor macroseismice.

Utilizând datele de la cele 5 seisme cu magnitudine $M_w \geq 6.0$ menționate, s-au reprezentat accelerațiile orizontale maxime ca funcție de frecvențele lor dominante, pentru fiecare nivel de intensitate din domeniul 5 – 8 (Fig. 1b-e). Rezultatele indică o tendință de creștere a accelerației maxime cu frecvența dominantă, cu alte cuvinte accelerația necesară producerii unei anumite intensități este mai mică la frecvențe mici decât la frecvențe mari. Un rezultat similar este evidențiat de ex. de Souriau (2006).

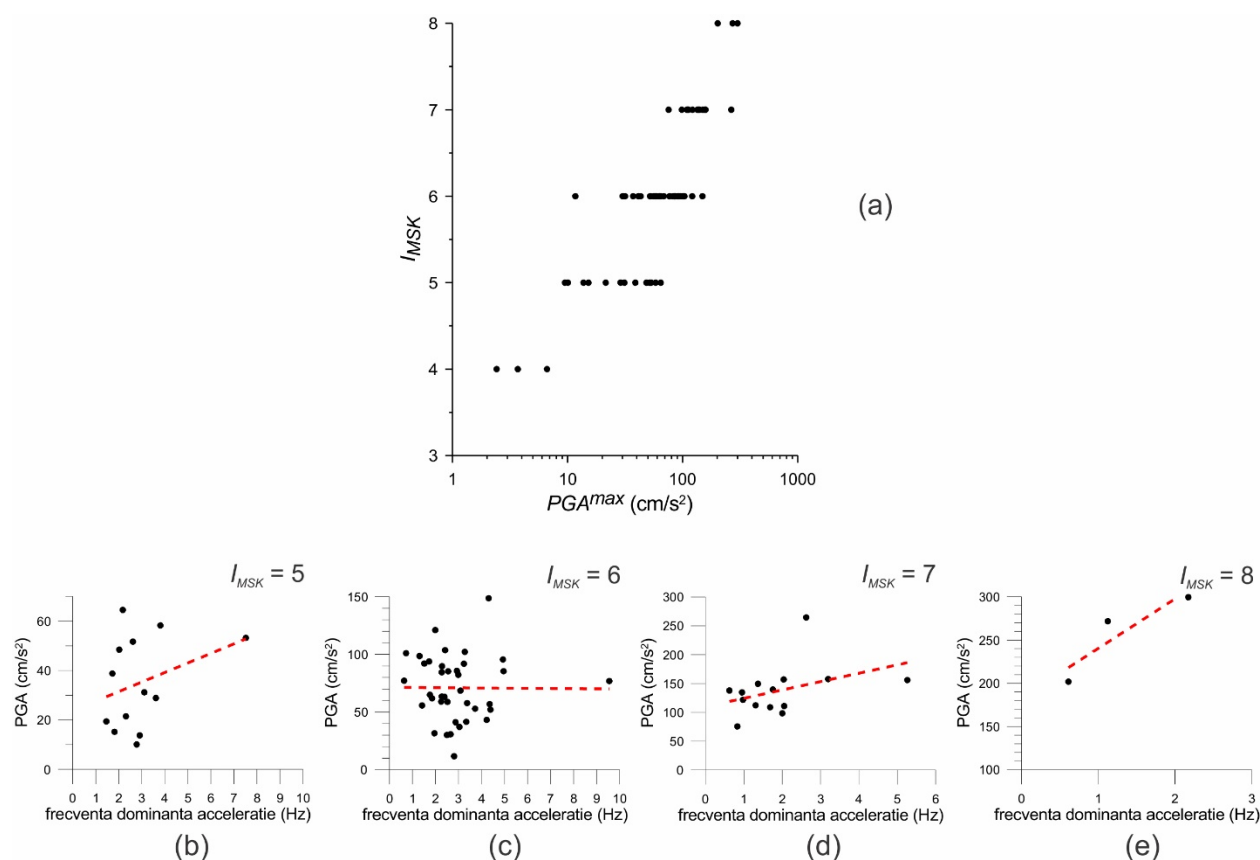


Fig. 1. (a) Corelația intensitate macroseismică – accelerație orizontală maximă, pentru evenimentele vrâncene subcrustale cu magnitudinea $M_w \geq 6$ produse în ultima jumătate de secol; (b)-(e) corelația accelerație orizontală maximă – frecvență dominantă a accelerației, pentru fiecare nivel de intensitate.

Pentru cutremurele vrâncene subcrustale cu magnitudine $M_w > 4$ s-au calculat spectrele Fourier de viteză și deplasare, utilizând spectrele de accelerație obținute anterior din

înregistrările de mișcări puternice. O atenție deosebită s-a acordat evenimentelor cu magnitudine $M_w \geq 6$, datorită potențialului lor distructiv sporit.

În Figurile 2-5 sunt prezentate distribuțiile spațiale ale vitezei orizontale maxime a terenului PGV (s-a luat în considerare cea mai mare valoare dintre cele două componente orizontale) și distribuția spațială a frecvenței dominante a vitezei (s-a considerat componenta orizontală cu cea mai mare valoare a PGV), pentru cele mai puternice cutremure vrâncene pentru care avem disponibile înregistrări.

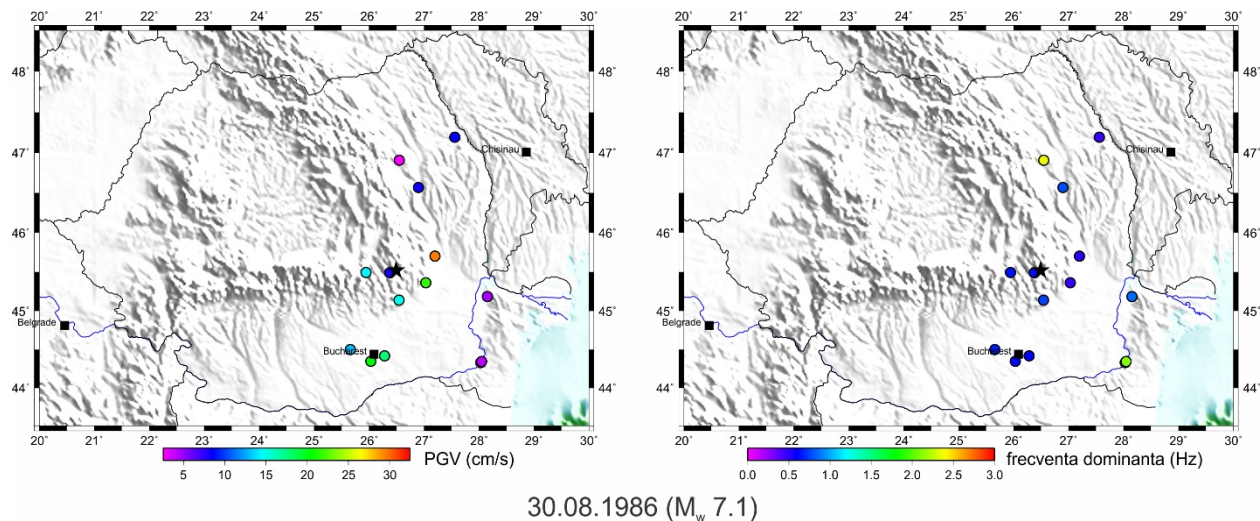


Fig.2. Distribuția vitezei maxime a terenului PGV (stânga) și a frecvenței dominante a vitezei (dreapta) pentru evenimentul din 30 august 1986.

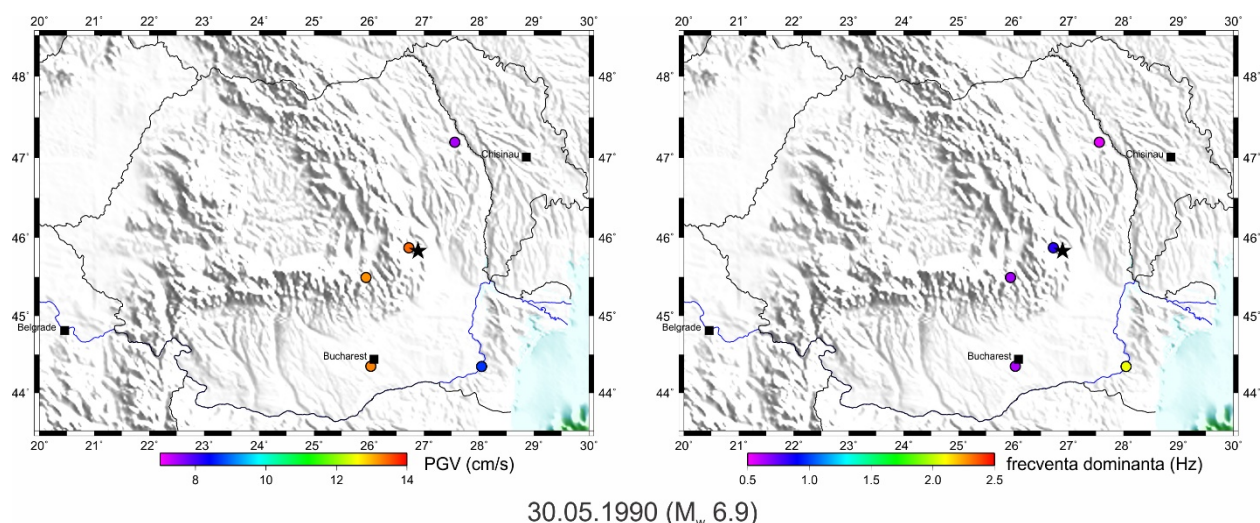


Fig. 3. Distribuția vitezei maxime a terenului PGV (stânga) și a frecvenței dominante a vitezei (dreapta) pentru evenimentul din 30 mai 1990.

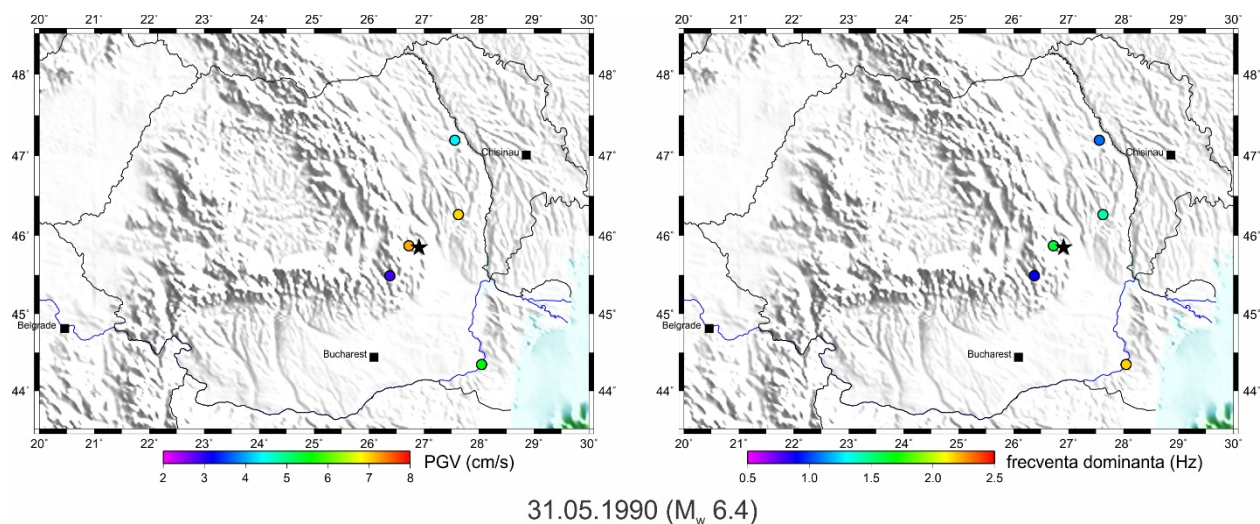


Fig. 4. Distribuția vitezei maxime a terenului PGV (stânga) și a frecvenței dominante a vitezei (dreapta) pentru evenimentul din 31 mai 1990.

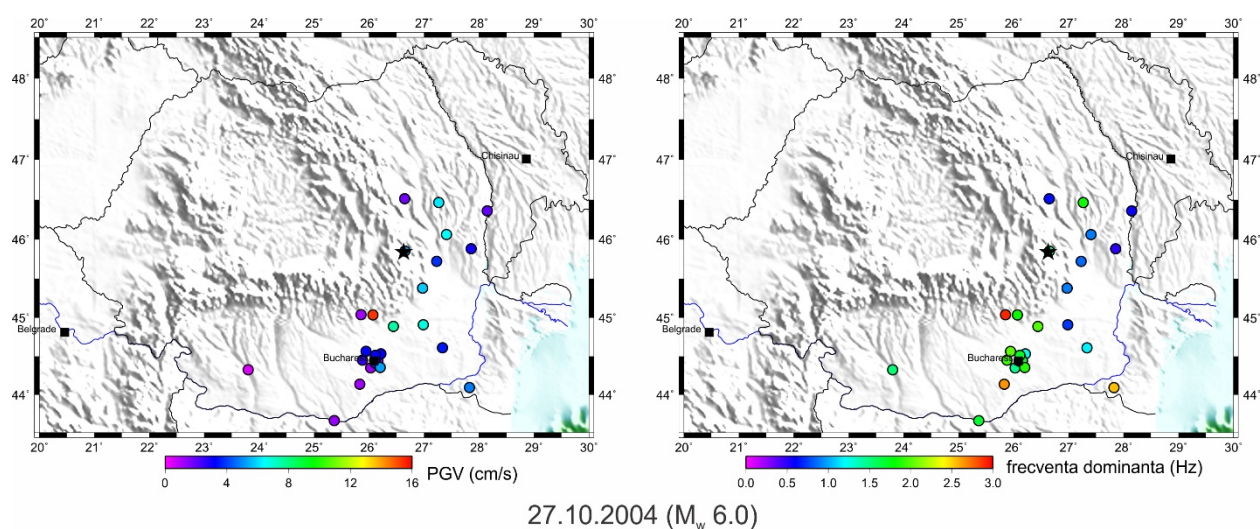


Fig. 5. Distribuția vitezei maxime a terenului PGV (stânga) și a frecvenței dominante a vitezei (dreapta) pentru evenimentul din 27 octombrie 2004.

Trebuie menționat că zgomotul din înregistrările de mișcări puternice nu a permis determinarea cu precizie acceptabilă a frecvenței dominante a vitezei pentru toate stațiile care au colectat date de accelerație.

Fig. 6 prezintă frecvența dominantă a vitezei în funcție de distanța hipocentrală, pentru cutremurele cu magnitudine $M_w \geq 6.0$.

Se observă că stațiile mai depărtate nu sunt asociate frecvențelor mai mici. Astfel, în domeniul de distanțe acoperit de date nu se evidențiază nici un efect al atenuării asupra frecvenței dominante a vitezei terenului.

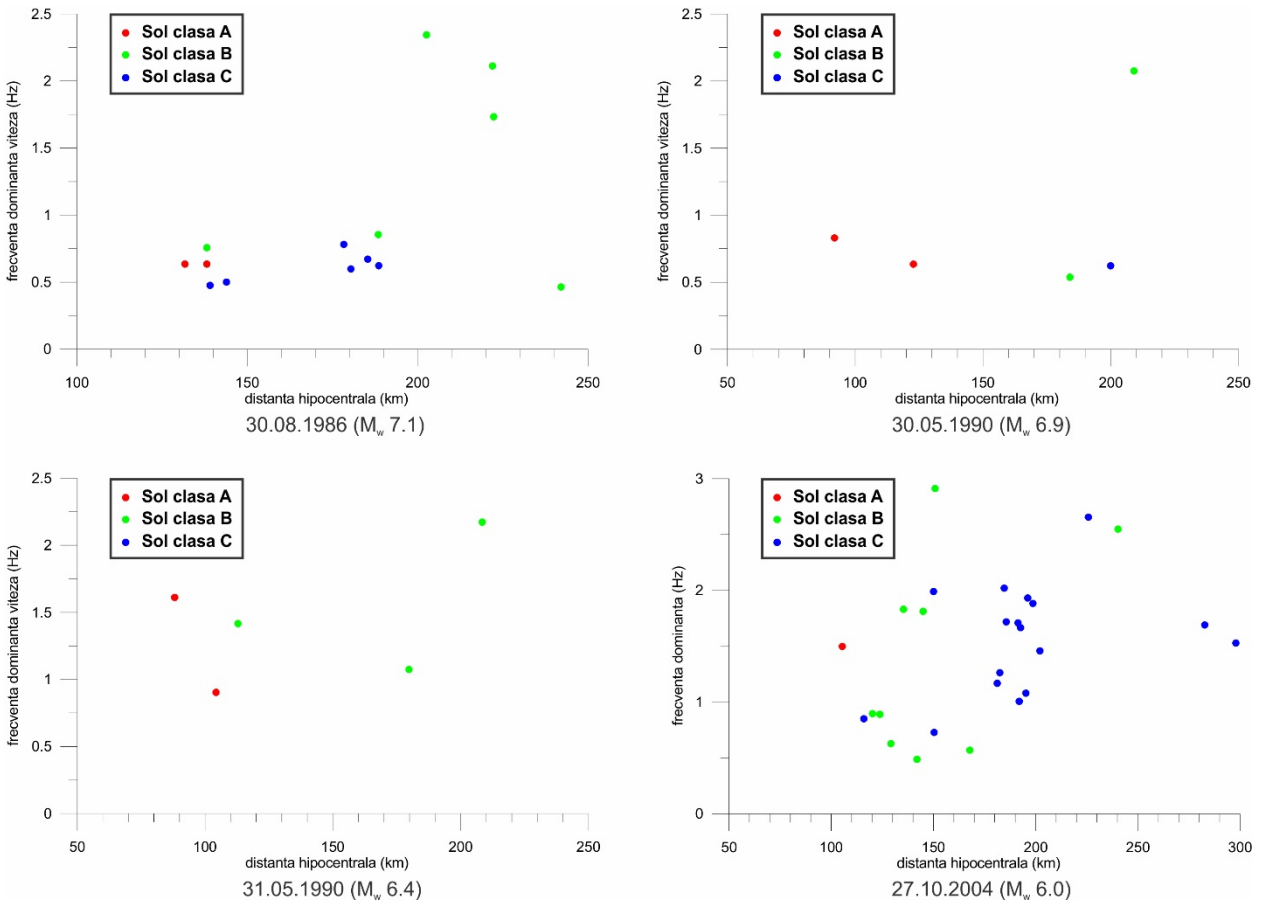


Fig. 6. Frecvența dominantă a vitezei terenului funcție de distanța hipocentrală, pentru evenimentele subcrustale cu magnitudine $M_w \geq 6.0$ (clasificarea solurilor după Văcăreanu et al., 2015).

Un rezultat similar s-a obținut și pentru evenimentele de magnitudine mai mică, pentru cele mai recente dintre acestea fiind disponibile înregistrări într-un domeniu de distanțe semnificativ mai larg. Un exemplu este prezentat în Fig. 7.

Contribuția magnitudinii sursei la conținutul de frecvențe al vitezei terenului a fost de asemenea investigată.

În Fig. 8 este prezentată dependența frecvenței dominante a vitezei de magnitudinea cutremurelor, pentru stații la care sunt disponibile date de la evenimentele cele mai puternice (cu magnitudine $M_w \geq 6$). Fig. 9 prezintă o analiză similară pentru stațiile localizate în București și zona limitrofă.

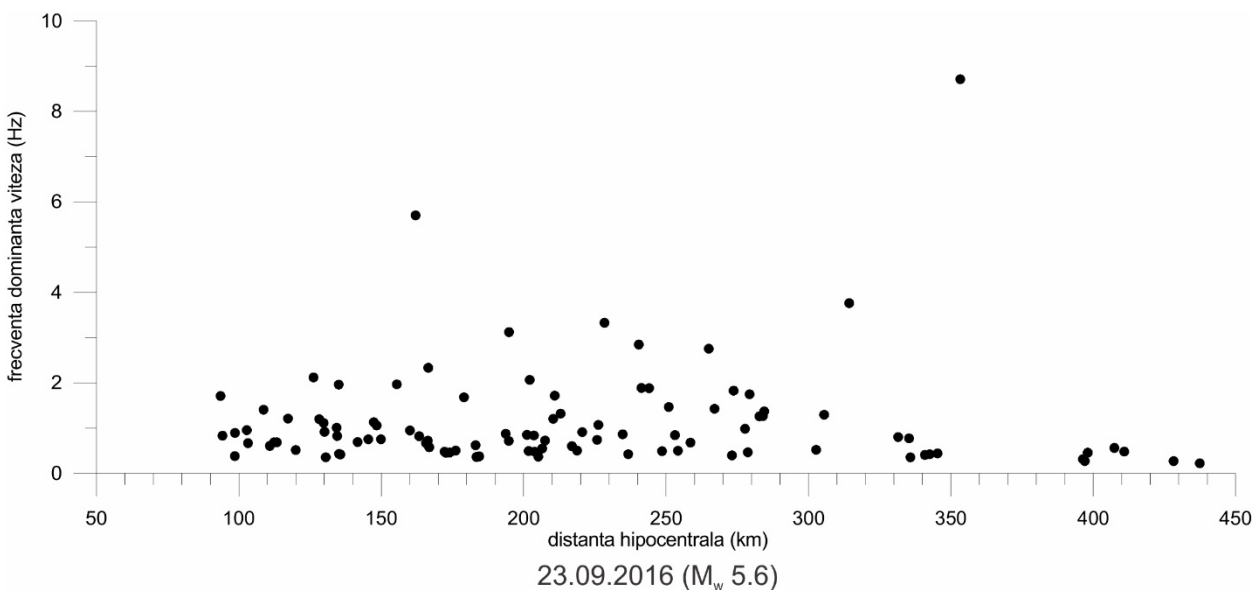


Fig. 7. Frecvența dominantă a vitezei funcție de distanța hipocentrală, pentru cutremurul subcrustal din 23 septembrie 2016 (magnitudine M_w 5.6).

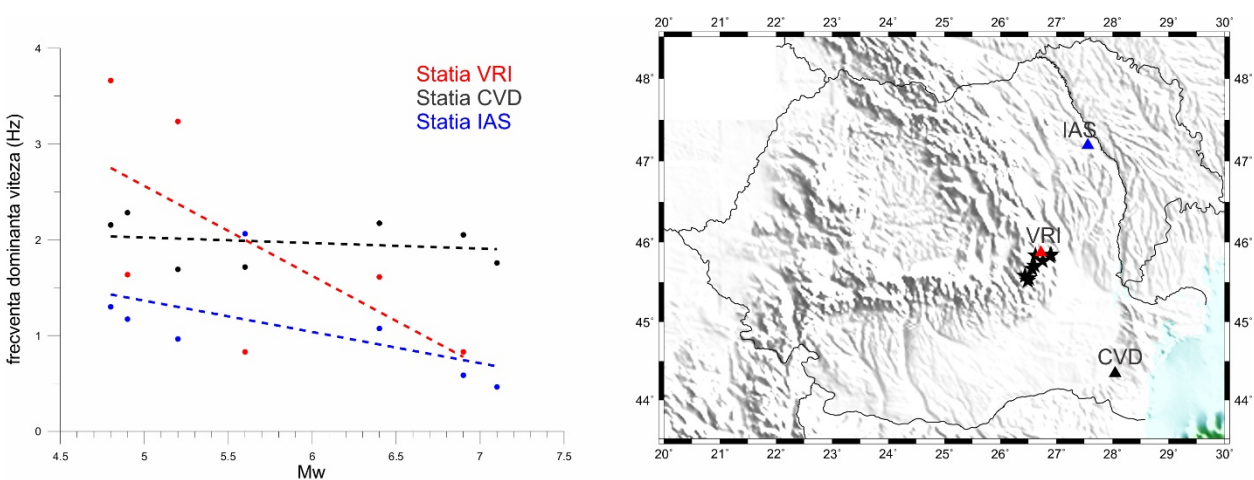


Fig. 8. Dependența frecvenței dominante a vitezei terenului de magnitudinea cutremurelor, pentru amplasamente care au înregistrat evenimentele puternice ($M_w > 6$) (stânga) și geometria surse – amplasamente (dreapta): triunghiuri – stațiile seismice, stele – epicentrele cutremurelor.

Scăderea frecvenței dominante a vitezei terenului cu creșterea magnitudinii seismului se observă la toate stațiile; rezultatul se datorează contribuției mai semnificative a energiei de frecvență mică în cazul cutremurelor mai puternice. Totuși, corelația frecvență dominantă – magnitudine diferă notabil de la un amplasament la altul. Astfel, în cazul stației CVD frecvențele dominante variază relativ puțin pe întregul domeniu de magnitudini între 4.5 și 7.1, în timp ce pentru stația VRI și amplasamentele din București variația este consistentă. Aceste diferențe își au originea atât în variațiile laterale ale structurii litosferice în aria studiată, cât și în geologia locală la punctele de observație.

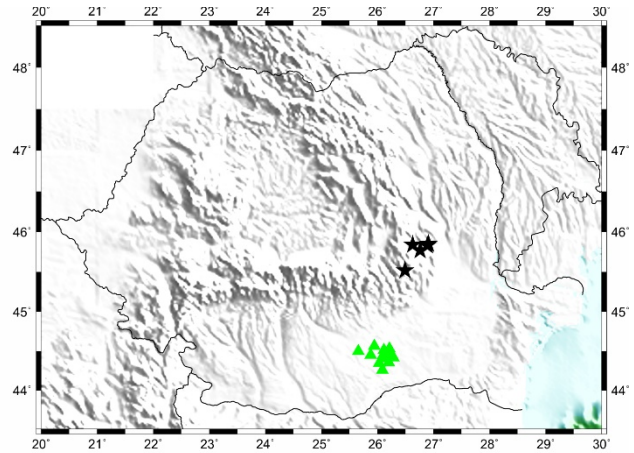
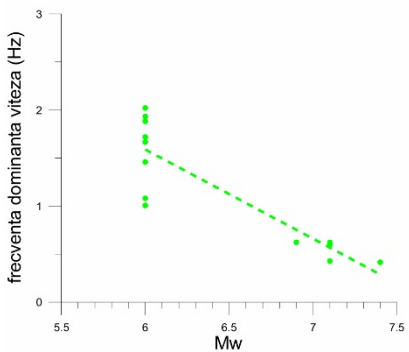


Fig. 9. *Dependența frecvenței dominante a vitezei terenului de magnitudinea cutremurelor, pentru amplasamente din București și zona limitofă (stânga) și geometria surse – amplasamente (dreapta): triunghiuri – stațiile seismice, stele – epicentrele cutremurelor.*

Spectrele Fourier de deplasare ale cutremurelor vrâncene subcrustale au fost calculate utilizând întreaga tren de unde din înregistrările de accelerație.

Caracteristicile spectrelor de amplitudine – nivelul palierului la frecvență mică și frecvența de colț – se corelează bine cu dimensiunea sursei, atât nivelul palierului cât și frecvența de colț cresc cu magnitudinea M_w . Un exemplu este prezentat în Fig. 10 – spectrele cutremurelor puternice (magnitudine $M_w \geq 6$) obținute pentru stații situate în București.

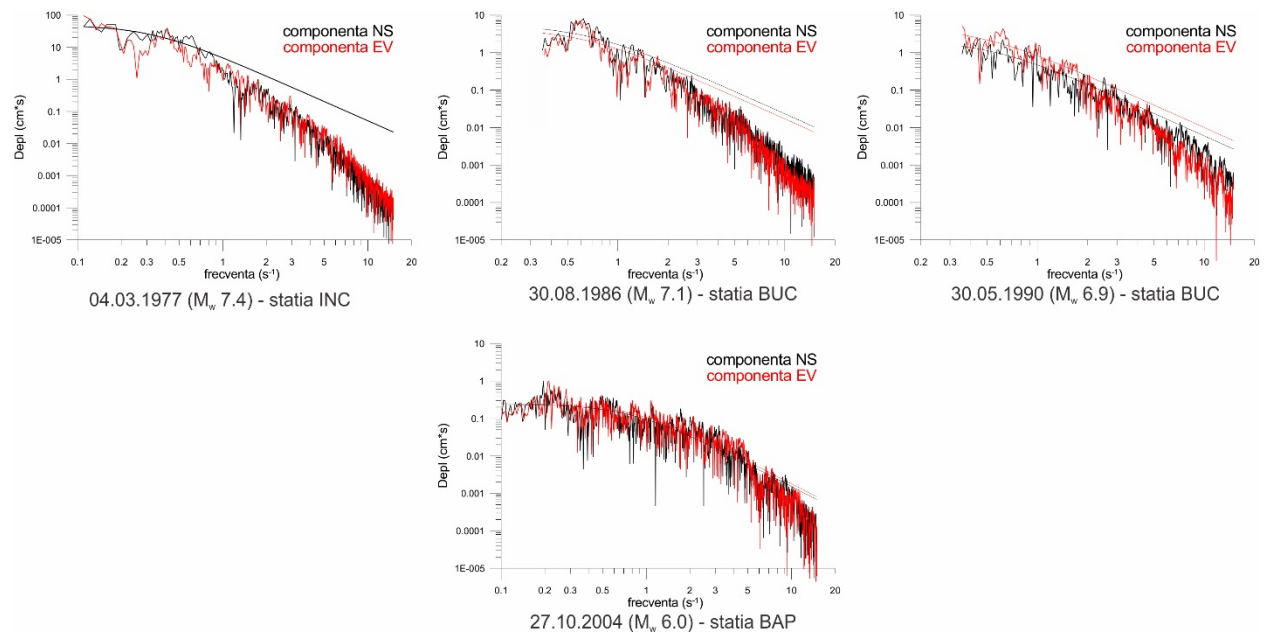


Fig. 10. *Spectre Fourier de amplitudine pentru deplasarea terenului, obținute pentru stații amplasate în București.*

Nivelul palierului la frecvență mică variază de asemenea cu distanța, ca rezultat, pe de o parte, al împrăstierii geometrice, iar pe de altă parte, al atenuării inelastice a energiei undelor seismice. Fig. 11 prezintă spectre Fourier de deplasare obținute în amplasamente localizate la diferite distanțe hipocentrale, pentru evenimentul din 23 septembrie 2016 (M_w 5.6).

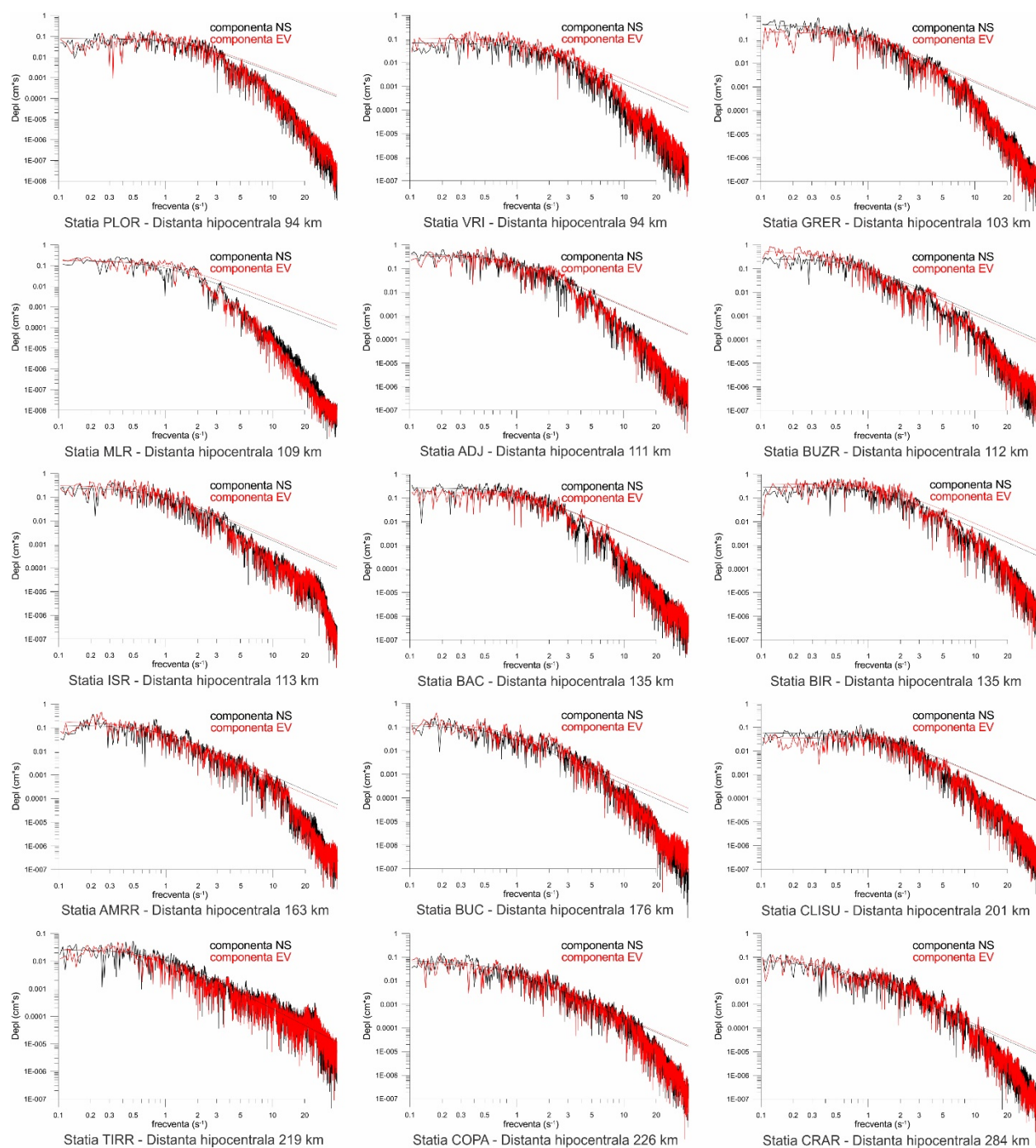


Fig. 11. Spectre Fourier de amplitudine pentru deplasarea terenului, pentru evenimentul din 23 septembrie 2016 (M_w 5.6).

Spectrele Fourier de amplitudine ale deplării terenului, calculate din trenul undelor S, vor fi utilizate în continuare pentru determinarea parametrilor de sursă ai cutremurele vrâncene subcrustale.

Bibliografie

- Souriau A. (2006). Quantifying felt events: a joint analysis of intensities, accelerations and dominant frequencies, *J. Seismol.*, **10**, 23-38.
- Văcăreanu 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:

- o analiză a influenței frecvenței dominante a accelerației terenului asupra intensității macroseismice în amplasamente.
- spectre de viteză și deplasare a terenului, pentru cutremurele subcrustale vrâncene puternice și moderate ($M_w > 4$).
- o analiză a variațiilor spațiale ale frecvenței dominante a vitezei terenului, generate de cutremurele vrâncene puternice și moderate.
- o analiză a variației frecvenței dominante a vitezei terenului cu mărimea cutremurelor.

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

Indicatori:

- un articol în revizie:

- 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:

Utilizând date de la 5 cutremure subcrustale vrâncene semnificative ($M_w \geq 6.0$) produse în ultima jumătate de secol, s-a studiat influența frecvenței dominante a accelerației terenului asupra intensității macroseismice în amplasamente. Rezultatele indică faptul că accelerația necesară producerii unei anumite intensități (în domeniul 5 – 8) este mai mică la frecvențe mici decât la frecvențe mari.

Pentru cutremurele vrâncene de adâncime intermediară cu magnitudini $M_w > 4$ s-au calculat spectrele de viteză și deplasare a terenului.

S-a analizat distribuția spațială a frecvenței dominante a vitezei terenului și variația acesteia în relație cu mărimea cutremurelor.

În domeniul de distanțe acoperit de date nu se evidențiază vreun efect al atenuării asupra frecvenței dominante a vitezei terenului. Pe de altă parte, efectul magnitudinii sursei este determinant pentru frecvența dominantă a vitezei terenului în amplasamente.

Responsabil fază

Dr. Luminița Ardeleanu

Responsabil proiect

Dr. Iren Adelina Moldovan