

Contractor: .....

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

De acord,  
DIRECTOR GENERAL

Avizat,  
DIRECTOR DE PROGRAM

## RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: PN 16 35 03 04

**Proiectul:** Estimarea in timp real a magnitudinii din moment seismic si a parametrilor miscarii solului in cazul producerii cutremurelor semnificative pe teritoriul Romaniei din date de acceleratie.

**Faza 1:** Dezvoltarea metodologiei pentru estimarea in timp real a magnitudinii din moment seismic si a parametrilor miscarii solului, din date de acceleratie.

**Termen:** 29.04.2016

### 1. Obiectivul proiectului:

Obiectivul principal al acestui proiect este de a dezvolta o metoda automata, stabila, pentru estimarea in timp real a magnitudinii cutremurelor din moment seismic si a parametrilor miscarii solului pentru evenimentele seismice inregistrate de o retea de accelerometre.

### 2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Dezvoltarea de instrumente care pot fi folosite in managementul dezastrelor provocate de cutremure in Romania. In particular, vor fi dezvoltati algoritmi pentru determinarea rapida a parametrilor sursei seismice (localizarea in timp real a sursei, reprezentarea acesteia pe harta, determinarea magnitudinii din moment seismic si a parametrilor miscarii solului, folosind retea de accelerometre).

### 3. Obiectivul fazei:

Identificarea, dezvoltarea și descrierea metodologiei de estimare în timp real a momentului seismic scalar, a magnitudinii moment seismic și a frecvenței de colt asociate evenimentelor seismice vrâncene de adâncime intermediară înregistrate de o rețea seismică echipată cu senzori de accelerație.

#### **4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:**

Testarea algoritmului de estimare a magnitudinii moment ( $M_w$ ) pentru un set de cutremure semnificative, produse la adâncimi intermediare din zona Vrancea, utilizând rețeaua de accelerometre disponibilă din cadrul INCDFP.

#### **5. Rezumatul fazei:**

Proiectul abordează o tematică de maximă actualitate pentru țara noastră având în vedere activitatea seismică ridicată și potențialul ei distructiv. Realizarea lui implică atât cercetare cu caracter fundamental, cât și cercetare cu caracter tehnic-aplicativ. Proiectul va contribui la îmbunătățirea gestionării acțiunilor post seism menite să salveze vieți omenești și bunuri materiale și va duce la evitarea unor situații confuze foarte periculoase, care pot apărea în cazul producerii unui eveniment seismic major, datorită lipsei unor informații corecte.

În acest proiect este descrisă o metodă stabilă de estimare în timp real a momentului seismic scalar, a magnitudinii moment seismic și a frecvenței de colt asociate evenimentelor seismice din zona Vrancea (adâncimi intermediare), înregistrate de o rețea seismică echipată cu senzori de accelerație.

Regiunea Vrancea este o regiune seismică deosebit de complexă de convergență continentală caracterizată de cel puțin trei unități tectonice în contact: Placa Est-Europeană și subplăcile Intra-Alpină și Moesică (Constantinescu et al., 1976). Activitatea seismică cea mai puternică din România se concentrează la adâncimi intermediare de (60-200 km), într-o placă subdusă veche, aproape verticală. Observarea a 1 - 6 evenimente de  $M_w > 7.0$  pe secol într-un volum focal foarte restrâns implică un nivel înalt al deformării active ( $\sim 3.5 \times 10^{-7} \text{ an}^{-1}$ ) care nu se observă clar în deformarea crustei.

Înregistrarea evenimentelor seismice în timp real se face cu ajutorul Rețelei Seismice Naționale a INCDFP. Datele înregistrate de Rețeaua Seismică Națională, sunt pre-procesate iar trenul undelor S este identificat prin aplicarea unei metodologii automate, care estimează timpii de sosire ai undelor S pe baza localizării hypocentrului, a stațiilor la care au înregistrat evenimentul seismic și a modelului de viteze regional.

Pentru estimarea magnitudinii din moment seismic este folosită componenta transversală a mișcării solului. Spectrul sursei seismice este obținut prin eliminarea din semnalele seismice a imprastierii geometrice și a atenuării intrinseci. Urmand aceasta metodologie sunt calculate spectrele sursei seismice atât pentru viteza cât și pentru deplasare, după Andrews (1986), apoi este calculat momentul seismic scalar și prima estimare a frecvenței de colt  $f_0$ .

Pentru caracterizarea evenimentelor seismice au fost introduse câteva scări de magnitudine. Acest lucru este valabil atât pentru cutremurele locale și regionale cât și pentru evenimentele teleseismice. În anul 1935 Charles Richter a introdus pentru prima dată scara de magnitudine locală,  $M_L$ , pentru cuantificarea evenimentelor seismice din

Sudul Californiei. Aceasta magnitudine era calculata din amplitudinea maxima a inregistrarilor obtinute in urma folosirii unui seismometru de torsiune Wood-Anderson. Mai tarziu, au fost propuse alte scari de magnitudine (e.g. Gutenberg and Richter 1942, 1956; Kanamori and Jennings 1978; Eaton 1992), ale caror masuratori se bazeau pe amplitudinea trenului undelor S, durata inregistrarilor sau caracteristicile undelor coda. Aceste scari de magnitudine nu sunt strict legate de sursa seismica si toate aceste scari de magnitudine se satureaza la un moment dat. In 1977, Kanamori a introdus scara de magnitudine din moment seismic pentru a evita acest fenomen de saturare al scarilor de magnitudine. Aceasta scara de magnitudine este strans legata de cantitatea fizica ce descrie sursa seismica, momentul seismic scalar, introdus in seismologie cu o decada mai inainte de Aki (1966) si calculat din palierul de frecvente joase al spectrului sursei seismice (Brune 1970, 1971).

In acest proiect este descrisa o noua metoda de estimare a magnitudinii din moment seismic (Gallo, 2014), care foloseste analiza spectrala a undelor S, urmand metodologia lui Andrews (1986). Aceasta metoda nu depinde de relatii empirice, ci doar de cantitati fizice din care poate fi estimat direct momentul seismic scalar. In cadrul acestui proiect vom testa aceasta procedura pe inregistrările de strong motion disponibile pentru cutremurele de adancime intermediara produse in zona seismica Vrancea. Estimarea rapida a parametrilor sursei seismice (forme de unda, coordonatele epicentrale, parametrii miscarii solului, spectrul Fourier, spectrele de raspuns si alti parametrii ingineresti) reprezinta una dintre preocuparile de interes pentru agentii de Protectie Civila pentru interventie rapida in cazul producerii unui cutremur catastrofal pe teritoriul Romaniei.

### **Descrierea Retelei Seismice Nationale de accelerometre si metodologia utilizata**

Instalarea unui numar mare de statii seismice in cadrul Retelei Seismice Nationale permite crearea unei baze de date complete, cu înregistrări de calitate ale evenimentelor seismice moderate si foarte puternice, chiar si la distante epicentrale foarte mici. In prezent, Reteaua Seismica Nationala opereaza 158 de statii seismice dintre care 121 dintre acestea transmit datele in timp real la sediul INCDFP. In fiecare amplasament seismic sunt folosite digitizoare Quanterra Q330 si Kinematics ROCK/ROCK. Toate statiile seismice in timp real folosesc o rata de 100 de esantioane pe secunda. La fiecare statie seismica sunt instalati atat senzori de viteza de banda larga (Streckeisen STS2 sau Guralp CMG40T) cat si senzori de acceleratie (model EpiSensor).

Datele in timp real sunt achizitionate si procesate prin folosirea unui software dedicat, Antelope 5.5 (<http://www.brtt.com/software.html>). Algoritmul de localizare implementat la INCDFP foloseste detectorul LocSAT si modelul de viteza IASP91. Pentru calculul magnitudinii cutremurelor intermediare produse in zona seismica Vrancea, INCDFP foloseste o relatie de calcul (implementata in Antelope) care utilizeaza in estimarea magnitudinii distanta hipocentrala.

$$M_L = 0.5587 \log_{10}(A) + 1.7218 \log_{10}R + 0.0014 \cdot R - 0.2238 \text{ (Craiu, 2012)}$$

A- Amplitudinea maxima a miscarii solului (mmWA); R- distanta hipocentrala.

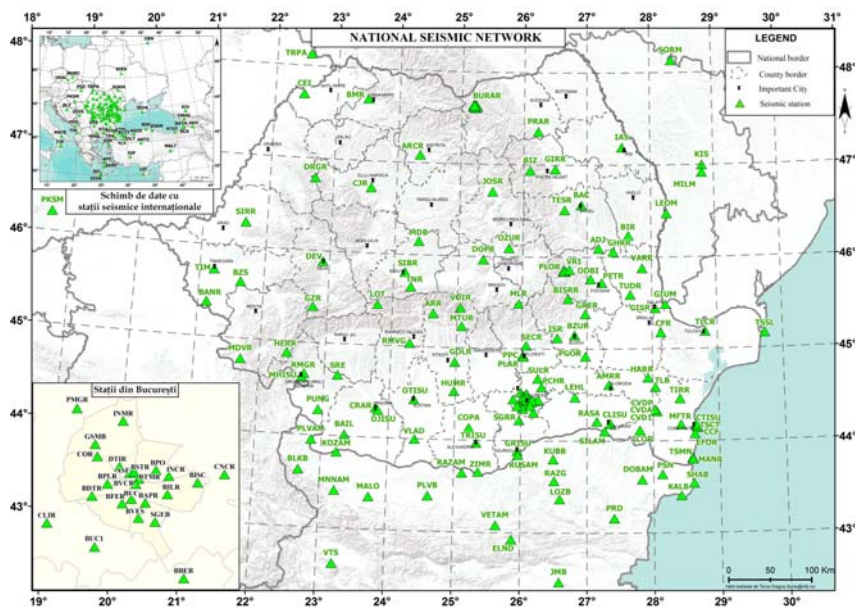


Figura 1. Reteaua Seismica Nationala de Accelerometre

Scara de magnitudine locala se va satura ( valori subestimate ale magnitudinii) in cazul producerii unui cutremur vrancean major, aceasta situatie putand fi evitata prin implementarea in sistemul de achizitie si procesare a datelor in timp real a metodologiei de calcul a magnitudinii din moment seismic, prin folosirea canalelor de acceleratie care vor oferi inregistrari complete spre deosebire de senzorii de viteza care vor intra in limitare.

Din baza de date a sistemului de achizitie si procesare a datelor in timp real Antelope 5.5 avem acces la formele de unda si parametrii asociati evenimentelor seismice cum ar fi, azimutul, distanta epicentrala, tipul de senzor (viteza sau acceleratie), rata de esantionare, parametrii absolut necesari pentru rularea acestui algoritm de estimare a magnitudinii din moment seismic. Acest software a fost optimizat pentru a crea noi tabele in baza de date a sistemului Antelope pentru a gestiona informatia noua obtinuta in urma rularii acestui algoritm. Este inlaturat raspunsul instrumentului, apoi este fixata distanta epicentrala la 130 Km. Apoi se verifica calitatea fiecarei inregistrari disponibile si se selecteaza frecventele de colt pentru filtrarea inregistrarilor, folosind raportul semnal zgomot (SNR), care ne ofera fereastra de timp in care semnalul va fi analizat. Aceasta analiza de zgomot incepe cu 10 secunde inainte de sosirea undelor P. Analiza semnalului seismic incepe din momentul sosirilor undelor S si reprezinta o functie de eveniment-distanța epicentrala, in particular este egala cu distanta impartita la 3km/s o valoare determinata empiric.

Fazele seismice P si S sunt detectate de programul de achizitie si procesare a datelor in timp real, Antelope 5.5. Din moment ce spectrul de zgomot poate fi la acelasi nivel cu semnalul seismic si chiar poate depasi acest nivel, atat la frecvente joase cat si inalte, este esential sa determinam intervalul de frecventa in care palierul spectral al semnalului seismic este semnificativ mai mare decat palierul spectral al zgomotului seismic. In continuare este aplicata urmatoarea procedura care va investiga domeniul de frecventa (de obicei intre 0.1 si 50 Hz), care permite selectarea ferestrei de timp ce urmeaza a fi analizata in care raportul semnal zgomot este mai mare de 3. Incepand de la cele mai joase frecvente au fost calculate frecventele minime la care raportul semnal

zgomot depaseste valoarea 3. Prin aplicarea unui filtru Butterworth am obtinut vitezele, acceleratiile si deplasările solului prin derivarea sau integrarea semnalului seismic. După acest pas se aplica semnalului transformata Fourier (FFT), pentru a obtine spectrul semnalului seismic. Apoi toate aceste semnale procesate sunt corectate de imprastierea geometrica si atenuarea intrinseca pentru a obtine spectrul semnalului seismic.

### Estimarea magnitudinii din moment seismic

Pentru estimarea parametrilor sursei seismice, componentele orizontale ale semnalului seismic sunt rotite pentru a obtine componenta transversala a miscării solului. Au fost selectate undele SH pentru cateva motive: undele P au avantajul de a fi primele sosiri si de aceea sunt si foarte usor de detectat. Aceasta limita de timp afecteaza frecventa minima detectabila a undelor P. De asemenea undele SV sunt afectate de convertirea fazelor si suprapunerea cu componenta verticala a undelor P.

Frecventa de colt este estimata conform Andrews (1986):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S_{V2} S_{D2}}{L}} \quad (1)$$

Prin determinarea spectrului Brune, palierul spectral la frecvente joase se calculeaza astfel (Brune, 1970):

$$\Omega^2 = 4S_{D2}^2 S_{V2}^{-1/2} \quad (2)$$

Dupa cum se stie, aceasta valoare este legata de momentul seismic:

$$M_0 = 4\pi\rho\beta^3\Omega/k \quad (3)$$

$\rho$  - densitatea in zona focala;  $\beta$  - viteza undelor S;  $\Omega$  - nivelul spectral al undelor de forfecare de lungă perioadă;  $k$  - forma de radiatie (include raspunsul suprafetei libere).

In final magnitudinea din moment seismic este determinata in conformitate cu Kanamori (1977):

$$M_W = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 6.1 \quad (4)$$

La sfarsitul acestei proceduri, parametrii sursei seismice obtinuti sunt stocati in baza de date a sistemului de achizitie si procesare a datelor in timp real Antelope 5.5, dupa care este generat un raport care contine toate informatiile obtinute.

### Validarea metodologiei

Au fost analizate 71 de evenimente seismice cu magnitudine moderata ( $M_L \geq 3.0$ ), de adancime intermediara din zona Vrancea, inregistrate in perioada 2004-2016. Pentru validarea rezultatelor obtinute, s-au comparat valorile magnitudinii din moment seismic ( $M_w$ ) nou obtinute cu valorile magnitudinii locale ( $M_L$ ) si valorile magnitudinii ( $M_{EWS}$ ) produse de sistemul de avertizare rapida (EWS) al INCDFP. Toate aceste valori de magnitudine sunt calculate folosind date de acceleratie.

Evenimentele seismice analizate in faza de testare a algoritmului de estimare a magnitudinii din moment seismic sunt sintetizate in graficele de mai jos:

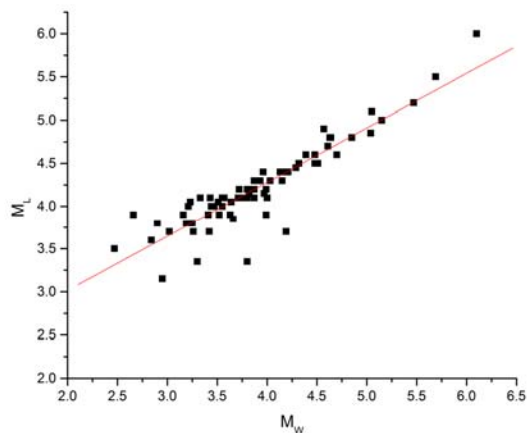


Figura 2. Compararea magnitudinii din moment seismic  $M_w$  cu magnitudinea locala  $M_L$ , pentru evenimentele studiate

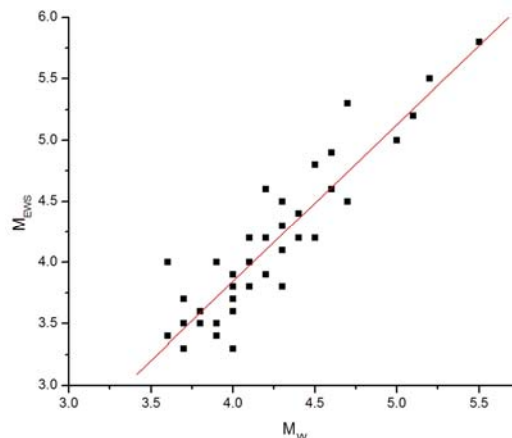


Figura 3. Compararea magnitudinii din moment seismic  $M_w$  cu magnitudinea furnizata de Sistemul de Avertizare Rapida (EWS)

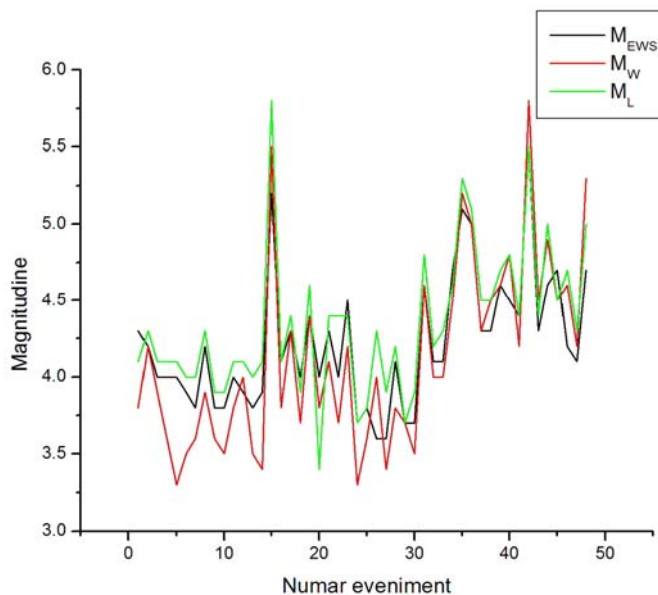


Figura 4. Reprezentarea celor 3 scari de magnitudine calculate din date de acceleratie.

Rezultatele obtinute arata ca valorile magnitudinii din moment seismic sunt suficient de stabile raportandu-ne la magnitudinea locala, neexistand variatii semnificative (figura 2). Erori ceva mai mari apar la cutremurele intermediare cu magnitudinea  $M \leq 3.5$ , explicatia fiind limitarea distantei epicentrale la 130 km. O si mai buna concordanta a valorilor magnitudinii din moment seismic exista in cazul magnitudinii furnizate de Sistemul de Avertizare Rapida ( $M_{EWS}$ ), unde se observa o corelare foarte buna intre aceste doua sisteme (figura 3).

In figura 4 este ilustrat comportamentul celor 3 relatii de calcul al magnitudinii din date de acceleratie, si se poate observa ca la cutremure cu magnitudinea peste 4.0

valorile sunt sensibil egale, in timp ce la cutremure mai mici cu  $M < 4.0$ , valorile magnitudinii din moment seismic sunt subestimate datorita limitarii distantei epicentrale.

Magnitudinea obtinuta din momentul seismic aproximeaza foarte bine magnitudinile reale, prin urmare aceasta metodologie s-a dovedit a fi un mod foarte eficient pentru estimarea rapida si precisa a magnitudinii pentru cutremurele vrancene. Estimarea rapida a parametrilor miscarii solului in cazul producerii cutremurelor semnificative pe teritoriul Romaniei din date de acceleratie este foarte importanta in evaluarea potentialelor pagube in zonele afectate in urma producerii acestora si contribuie la reducerea riscului seismic.

Exemplu de harti cu parametrii miscarii solului pentru evenimentul seismic vrancean din 06.10.2013:

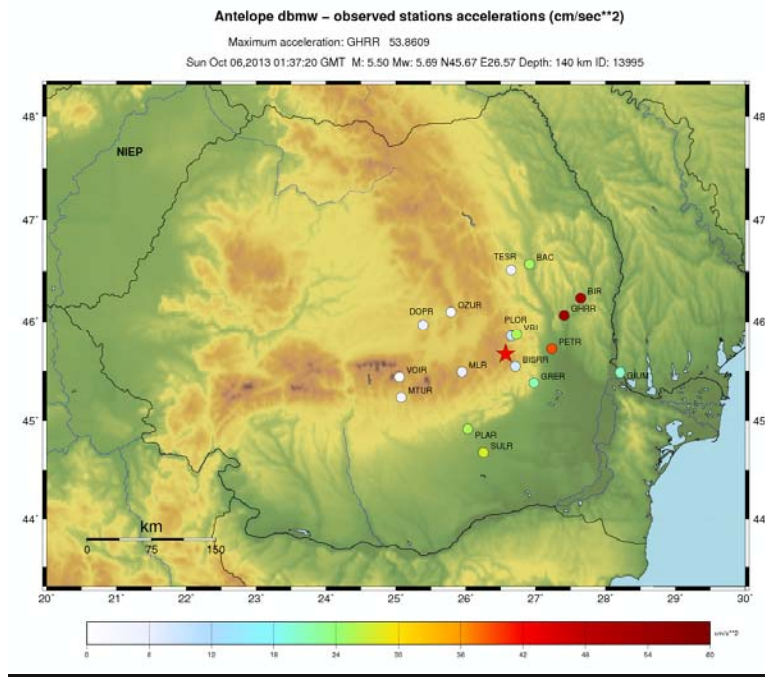


Figura 5. Acceleratiile maxime (PGA) inregistrate in urma producerii evenimentului seismic din 06.10.2013

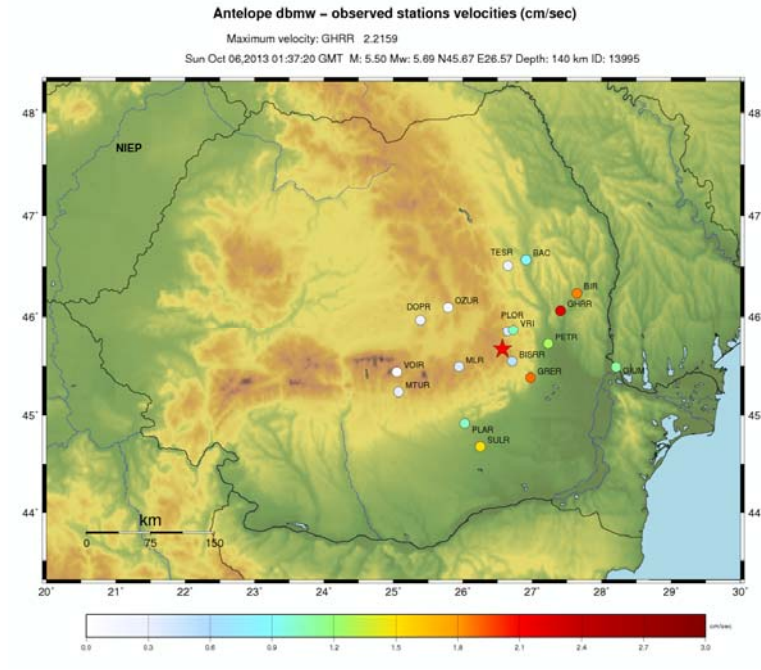


Figura 6. Vitezele maxime inregistrate (PGV) in urma producerii evenimentului seismic din 06.10.2013

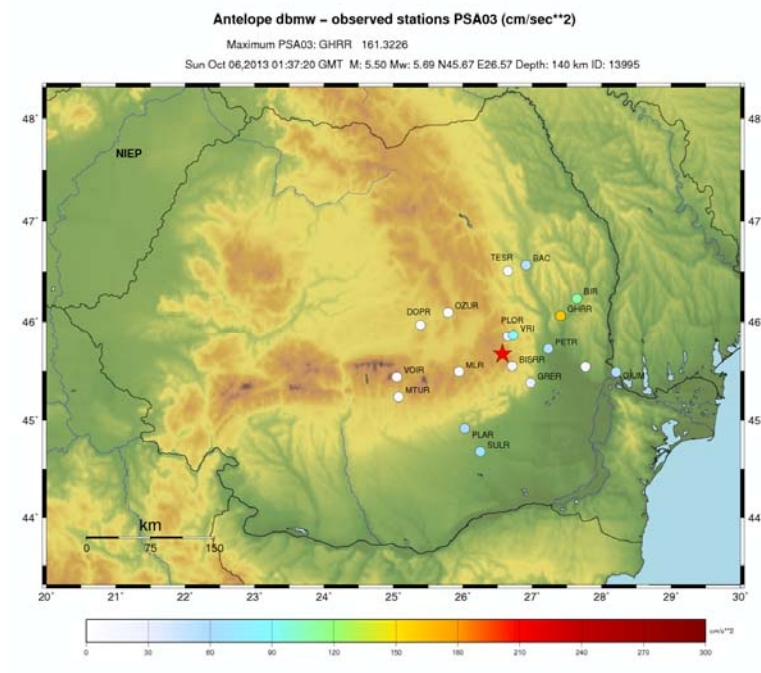


Figura 7. Acceleratiile spectrale inregistrate (PSA03) in urma producerii evenimentului seismic din 06.10.2013



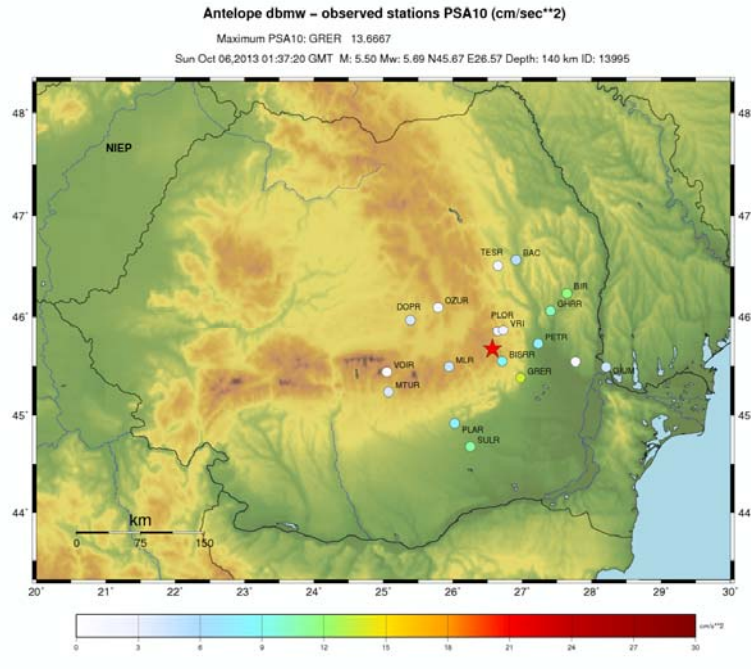


Figura 8. Acceleratiile spectrale inregistrate (PSA10) in urma producerii evenimentului seismic din 06.10.2013

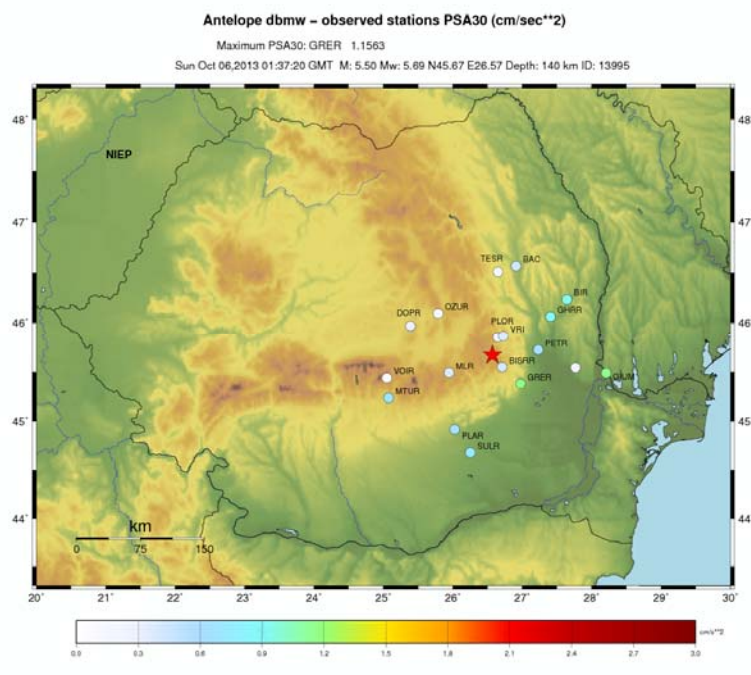


Figura 9. Acceleratiile spectrale inregistrate (PSA30) in urma producerii evenimentului seismic din 06.10.2013

In figurile de mai sus sunt reprezentate valorile maxime ale acceleratiilor si vitezelor inregistrate (PGA si PGV) in urma producerii evenimentului seismic din 06.10.2013, impreuna cu valorile acceleratiilor spectrale calculate la 0,3; 1 respectiv 3

Hz. Aceste harti impreuna cu parametrii sursei seismice ( $M_0$ ,  $M_w$ ,  $f_0$ ) sunt incluse intr-un raport care in urma implementarii acestei metodologii in timp real in cadrul Antelope, va fi disponibil la 10 minute dupa producerea unui cutremur de adancime intermediara in zona seismica Vrancea si apoi postat pe pagina web a INCDFP si trimis catre inspectoratele pentru situatii de urgenta (IGSU) si agentile guvernamentale responsabile de managementul impotriva dezastrelor naturale.

### **Bibliografie:**

Aki K (1966) Generation and propagation of G waves from Niigata earthquake of June 16, 1964, estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from G wave spectrum. Bull. Earthq. Rex Inst. Tokyo Uniu 44:73–78;

Andrews DJ (1986) Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size. Maurice Ewing series, 6, American Geophysical Union, Geophysics Monograph, 37, Washington DC, pp 259-267;

Brune J (1970) Tectonic stress and spectra of seismic shear waves from earthquakes. J Geophys Res 75(26):4997–5009;

Brune J (1971) Correction. J Geophys Res 76(20):5002 ;

Constantinescu, L., Constantinescu, P., Cornea, I., and Lăzărescu, V. (1976), Recent seismic information on the lithosphere in Romania, *Rev. Roum. Géol., Géophys., Géogr., Ser Géophys.* 20, 33-40;

Craiu M., Craiu A., Ionescu C., Popa M., Radulian M., (2012) New local magnitude calibration for Vrancea (Romanian) intermediate-depth earthquake, Romanian Reports in Physics, Vol. 64, No. 4, 2012;

Eaton JP (1992) Determination of amplitude and duration magnitudes and site residuals from short-period seismographs in northern California. Bull Seismol Soc Am 82:533–579;

Gallo A., Costa G., Suhadolc P. (2014) Near real-time automatic moment magnitude estimation, Bull Earthquake Eng, 12:185–202, DOI 10.1007/s10518-013-9565-x;

Gutenberg B, Richter CF (1942) Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. Bull Seismol Soc Am 32:163–191;

Gutenberg B, Richter CF (1956) Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration (second paper). Bull Seismol Soc Am 46(2):105–145;

Kanamori H (1977) The energy release in great earthquakes. J Geophys Res 82:2981–2987 ;

Kanamori H, Jennings PC (1978) Determination of local magnitude, ML from strong-motion accelerograms. Bull Seismol Soc Am 68(2):471–485;

Richter CF (1935) An instrumental earthquake magnitude scale. Bull Seismol Soc Am 25:1–32.

## **6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului**

### **Rezultate**

In prezent aceasta metodologie este testata si folosita in analiza evenimentelor seismice de adancime intermediara produse in zona seismica Vrancea si ofera estimari stabile ale magnitudinii din moment seismic chiar si la cutremurele majore.

In urma testarii acestei metodologii de estimare a magnitudinii moment si a parametrilor miscarii solului din date de acceleratie pentru cutremurele de adancime intermediara din zona Vrancea, se poate constata ca rezultatele obtinute sunt in concordanta cu solutiile oferite de sistemul de achizitie si procesare a datelor in timp real Antelope dar si cu rezultatele furnizate de Sistemul de Avertizare Rapida (EWS).

### ***Stadiul realizării obiectivului fazei***

Obiectivul a fost realizat integral

### ***Concluzii***

Magnitudinea obtinuta din momentul seismic aproximează foarte bine magnitudinea cutremurelor, prin urmare aceasta metodologie s-a dovedit a fi un mod foarte eficient pentru estimarea rapida si precisa a magnitudinii pentru evenimentele seismice vrâncene.

Urmatorul pas va fi realizat in cea de-a doua faza a acestui proiect si va consta in implementarea acestei metodologii in cadrul sistemului de achizitie si procesare a datelor in timp real Antelope si trimiterea acestor informatii cat mai rapid catre factorii de decizie si populatie. Realizarea acestui lucru va conduce de asemenea la reducerea riscului seismic si va ajuta la o mai buna evaluare a hazardului seismic.

Scara de magnitudine locala  $M_L$  tinde sa subestimeze magnitudinea peste pragul de magnitudine  $M_L > 6.0$ , in consecinta rezultatul direct al acestor cercetari va consta in estimarea in timp real a magnitudinii din moment seismic  $M_w$  si a parametrilor miscarii solului din date de acceleratie, scara de magnitudine care nu se satureaza chiar si in cazul producerii unor evenimente catastrofale, reusind astfel sa evitam situatia intrarii in limitare a canalelor de viteza folosite in momentul de fata, in cazul producerii unui cutremur catastrofal. Estimarea in timp real a magnitudinii din moment seismic si a parametrilor miscarii solului pentru cutremurele puternice, prezinta un rol important in reducerea impactului negativ al evenimentelor catastrofale asupra zonelor dens populate si, in special, in reducerea pagubelor la structurile strategice si la sistemele de intretinere (retele de electricitate, apa, conducte de gaze). Folosind datele de la cutremurele puternice vor fi dezvoltate noi tehnici care vor putea evita problema saturarii si vor calcula rapid magnitudinea cutremurelor majore, ceea ce va conduce la o mai buna estimare (solutie stabila) in timp real a magnitudinii cutremurului.

**Responsabil proiect**  
**Dr. Craiu George Marius**