

**Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP)**

**Cod fiscal : 5495458** (anexa la procesul verbal de avizare interna nr. 12/23.08.2019)

**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: Dezvoltarea si implementarea de noi instrumente pentru seismologia in timp real si de transfer a produselor si rezultatelor cercetării către potențiali beneficiari (PN)**

**Faza 4: Revizuirea parametrilor de intrare si a metodologiei de generare a hartilor de tip ShakeMap**

**Termen de încheiere a fazei: 23 august 2019**

### 1. Obiectivul proiectului:

Scopul proiectului este de a aduce o contribuție semnificativă în ceea ce privește accesul la date, la servicii de cercetare, la soluții bazate pe cercetare-dezvoltare inovatoare și la dezvoltarea de e-infrastructuri care să vizeze reducerea expunerii societății umane, riscului reprezentat de cutremure naturale și antropice.

### 2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

- i) algoritmi si software pentru îmbunătățirea performanțelor sistemului de alarmare prin creșterea capacității de detecție si extindere a acestuia la alte zone seismice din Romania unice la nivel European;
- ii) metode, procedee si algoritmi, de analiza in timp real a undelor seismice, utilizând tehnologia satelitara GNSS de înaltă frecventa într-o maniera omogena, integrata, in vederea creșterii rezoluției rezultatelor;
- iii) proceduri, algoritmi si software avansate de detecție si localizare a surselor seismice in vederea monitorizării seismicității in timp real;

- iv) instrumente de estimare rapida a mișcării terenului generata de cutremurele din Romania;
- v) proceduri noi si metodologii pentru analiza si caracterizarea in timp real a evenimentelor seismice produse pe teritoriul Românie;
- vi) instrumente de acces si de transfer a datelor si produselor geofizice in vederea valorificării rezultatelor cercetării.

### 3. Obiectivul fazei:

Obiectivul principal al acestei teme îl reprezintă îmbunătățirea hărțile de tip ShakeMap generate in cazul cutremurelor din Romania prin optimizarea algoritmilor de estimare a parametrilor mișcării terenului si completarea informațiilor înregistrate la stațiile seismice cu informații macroseismice observate in teren. Obiectivele specifice ale fazei sunt: i) realizarea unui studiu privind metodologia de generare a hărților de tip ShakeMap la nivel internațional și național ii) dezvoltarea unor algoritmi de estimare a parametrilor mișcării terenului (PGA, PGV, SA) folosiți ca date de intrare pentru generarea hărților iii) baza de date cu parametrii (PGA, PGV, SA) estimați.

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

- studiu privind metodologia de generare a hărților de tip ShakeMap la nivel internațional și național
- algoritm optimizat pentru determinarea parametrilor mișcării terenului;
- baza de date cu parametrii (PGA, PGV, SA) care descriu mișcarea terenului necesari generării hărților de tip ShakeMap.

### 5. Rezumatul fazei:

Hărțile de tip ShakeMap reprezintă “fotografii” ale unor zone care surprind modul în care s-a mișcat terenul în timpul unui cutremur și constituie un instrument esențial și rapid pentru comunicarea informațiilor privind distribuția și severitatea mișcării terenului din zonele afectate de seism. Aceste informații pot fi utilizate de toți actorii implicați în gestionarea situațiilor de urgență în caz de cutremur major pentru a identifica zonele cele mai afectate de mișcarea seismică și pentru a estima amploarea acestora. De asemenea, produsele derivate din hărțile de tip ShakeMap sunt folosite ca date de intrare pentru programele de estimare a pierderilor de vieți omenești și a distrugerilor provocate de cutremur.

Hărțile de tip ShakeMap pot fi generate în mai multe moduri:

- i. utilizând parametrii de sursă (coordonate epicentru, adâncime, magnitudine și dacă există, dimensiuni rupere) și hărți de amplificare locală. Cu ajutorul ecuațiilor de estimare a parametrilor mișcării terenului (Ground Motion Prediction Equation – GMPE) se calculează parametrii de mișcare ai terenului (acelerație, viteză) la nivelul rocii de bază care sunt apoi corecțai cu factorii de amplificare derivați din hărțile de amplificare locală;
- ii. utilizând datele înregistrate în timp real de stațiile rețelelor seismice. E de preferat ca acestea să fie cât mai dense;

- iii. folosind chestionare on-line pe baza cărora se atribuie automat valori pentru intensitățile seismice;
- iv. utilizând atât valori înregistrate la stațiile seismice cât și valori calculate în funcție de parametri de sursă, relații empirice de atenuare a parametrilor mișcării terenului și factori de amplificare (de exemplu versiunile de ShakeMap < 3.5);
- v. utilizând valori reale ale parametrilor mișcării terenului înregistrate la stațiile seismice și despre intensitățile seismice colectate din teren sau de pe Internet combinate cu valori calculate în funcție de parametri de sursă, relații empirice de atenuare a parametrilor mișcării terenului și a intensității seismice și factori de amplificare (de exemplu versiunile de ShakeMap  $\geq 3.5$ ).

Pentru a veni în ajutorul instituțiilor care operează rețele de stații dense sau mai puțin dense și în sprijinul autorităților locale, naționale și chiar regionale, USGS a dezvoltat sistemul ShakeMap de generare a hărților cu distribuția parametrilor mișcării terenului și a intensității seismice imediat după un cutremur. Acest sistem a fost conceput inițial pentru regiunea Californiei (Wald et al. 1999a). Pentru a crește densitatea punctelor de interpolare, implicit a fidelității hărții, sistemul ShakeMap combină datele înregistrate la stațiile seismice cu valori estimate ale mișcării terenului în mai multe locații dispuse într-o rețea de stații "fantomă" care acoperă regiunea de interes. Parametrii mișcării terenului sunt estimați în aceste puncte folosind relații de atenuare empirice și factori de amplificare dependenți de geologia locală definiți pentru diferite tipuri de sol.

ShakeMap a fost implementat în multe alte regiuni din America de Nord, cum ar fi: Alaska, Utah, Nevada, California de Sud și de Nord, zona Pacific NV, New Madrid, regiunea Cascadia, Ontario. Începând cu 2007, USGS a implementat ShakeMap și la nivel global. În Europa, sistemul ShakeMap (v3.5) a fost instalat în Elveția, Grecia, Islanda, Italia, Norvegia, Spania, Turcia.

Metodologia de generarea hărților ShakeMap este prezentată schematic în Figura 1.

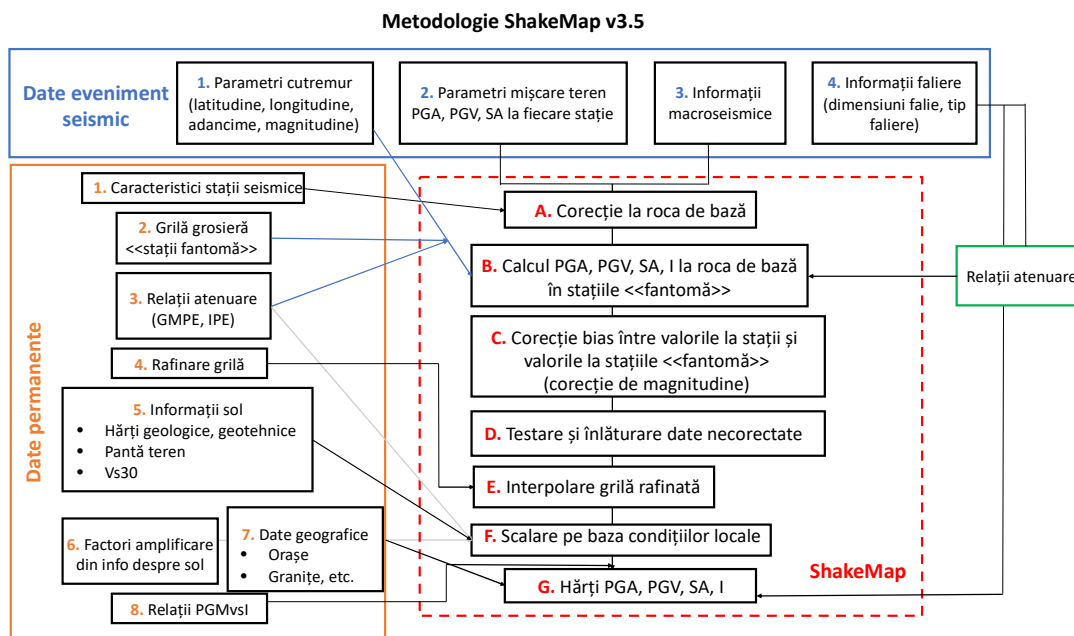


Figura 1 Metodologia generală pentru generarea hărților ShakeMap

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP) a implementat sistemul ShakeMap dezvoltat de USGS încă din anul 2007 (Ionescu, 2007). Sistemul a fost adaptat într-o oarecare măsură caracteristicilor seismicității din România și se bazează pe metoda dezvoltată de Worden et al (2010) pentru a combina datele observate și cele modelate folosind relațiile GMPE și GMICE. În Figura 2 este prezentat schematic modul în care ShakeMap este integrat cu sistemul de achiziție și procesare automată în timp real a datelor înregistrate la stațiile Rețelei Seismice Naționale. Sistemul este bazat pe o colecție de programe integrate într-un pachet numit Antelope (versiunea 5.7). Datele înregistrate de cele 130 de stații sunt transmise în timp real în ring buffer-ul sistemului Antelope fie printr-un protocol direct între stație și Antelope (*orb2orb*) fie prin intermediul unui client seedlink într-un server seedlink și apoi în buffer. Procesarea automată a datelor seismice din ring buffer se face cu ajutorul mai multor module, dintre care cele mai importante sunt *orbdetect*, *orbassoc* și *orbevproc*. Aceste module sunt folosite la citirea formelor de undă, detecția, estimarea și asocierea fazelor seismice unui eveniment precum și la localizarea și calculul magnitudinii evenimentului. În funcție de numărul de stații folosite la detecție și în localizare, timpul scurs până la producerea localizării automate poate fi de aproape 3 minute. Formele de undă sunt apoi salvate în baza de date folosind modulele *orb2db/orb2dbt*. Modulul *orbwfmeas* realizează măsurătorile pe formele de undă (PGA, PGV, SA) care apoi sunt salvate în formatul xml ca date de intrare pentru ShakeMap.

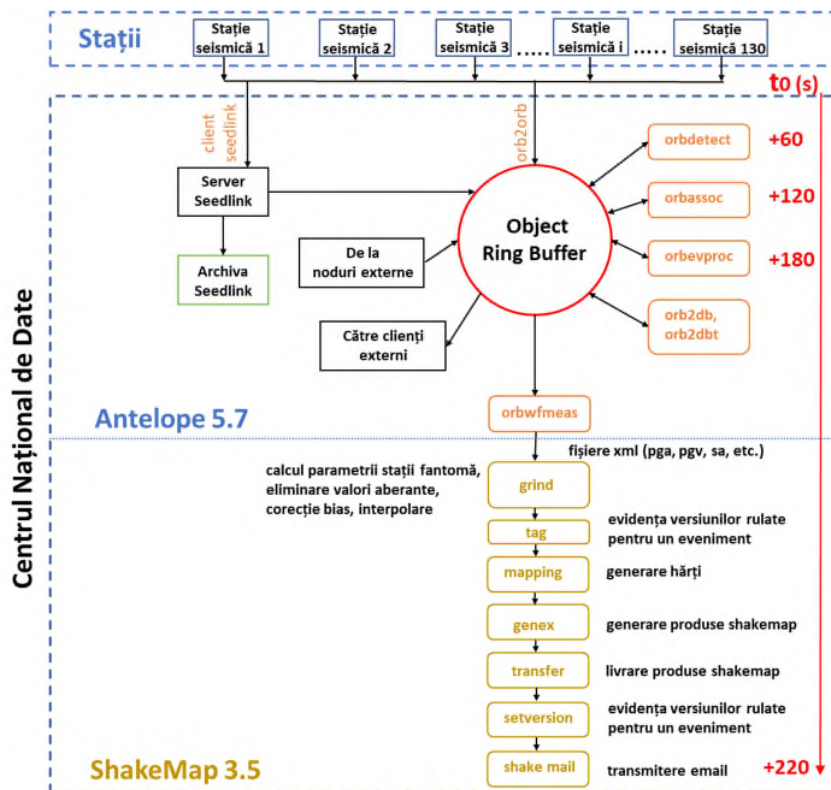


Figura 2. Diagrama fluxului automat de generare a hărților ShakeMap la INCDFP

Odată ce datele despre evenimentul seismic sunt disponibile pentru ShakeMap, programul cheamă un modul denumit *grind* responsabil pentru producerea 'grilelor' (grids) interpolate. În cadrul

acestei etape sunt marcate stațiile cu probleme, se calculează parametrii mișcării terenului în stațiile <<fantomă>>, sunt convertite valorile de intensitate în parametrii mișcării terenului și viceversa, se face corecția de bias între datele observate și cele calculate în stațiile <<fantomă>>, se elimină valorile aberante și se face interpolarea parametrilor mișcării terenului într-o 'grilă' uniformă. Pentru generarea hărților, a produselor ShakeMap și publicarea acestora pe pagina web dedicată se utilizează modulele *mapping*, *genex*, *transfer*. În final, informația despre generarea unui ShakeMap pentru un anumit cutremur și publicarea acestuia pe pagina web dedicată este transmisă prin email, la aproximativ 3-4 minute după producerea cutremurului. Acest interval de timp între producerea unui cutremur și generarea hărților de ShakeMap depinde bineînțeles de mărimea cutremurului și numărul de stații folosite în procesarea automată. Hărțile se actualizează pe măsură ce apar noi date de la stații sau localizarea manuală devine disponibilă.

INCDFP produce hărți de ShakeMap pentru toate cutremurele crustale cu magnitudine  $M_L \geq 3.0$  produse pe teritoriul țării sau în apropierea granițelor României și pentru toate cutremurele de adâncime intermediară cu magnitudine  $M_L \geq 3.0$  produse în zona Vrancea. Pentru cutremurele de suprafață pentru calculul parametrilor mișcării terenului în punctele fantomă se folosește relația Boore, Joyner, Fumal (1997), iar pentru derivarea intensităților seismice din PGA se folosește Allen și Wald (2009). În cazul cutremurelor vrâncene se folosește Sokolov et al. (2008) atât pentru GMPE cât și pentru IPE.

Acest proiect își propune implementare noului sistem de generarea a hărților cu distribuția parametrilor mișcării terenului bazat pe versiunea de ShakeMap 4.0. Implementarea propriu-zisă a noului sistemului ShakeMap la INCDFP se va realiza în etapa a doua a proiectului. Aceasta va urmări dezvoltarea de noi coduri și optimizarea celor originale pentru condițiile din România și realizarea de teste pentru identificarea parametrilor optimi de configurare a sistemului. Testele necesită rularea multiplă a sistemului ShakeMap pentru diferite cutremure care s-au produs în România și implicit existența parametrilor mișcării terenului (PGA, PGV, SA, etc.) determinați prin procesarea înregistrărilor obținute la stațiile seismice din timpul acestor cutremure. În acest scop, un obiectiv important al acestei faze a fost realizarea unei baze de date cu parametrii mișcării terenului care vor sta la baza generării hărților ShakeMap test.

Setul de date a provenit de la un număr de 215 cutremure care s-au produs în România în perioada 1996-2018 (anul 1996 a fost anul în care au fost instalate primele stații digitale K2 pe teritoriul țării). A fost stabilit un prag minim de magnitudine pentru selecția cutremurelor. Acesta a fost de 3,5 (Mw – din catalogul ROMPLUS, Oncescu et al. 1999, [www.infp.ro/romplus](http://www.infp.ro/romplus)) pentru cutremurele crustale, respectiv de 4.0 (Mw) pentru cele de adâncime intermediară. Astfel, din cele 215 cutremure 12 au fost crustale și au avut magnitudini cuprinse între 3,5 și 5,4, iar restul de 203 au fost de adâncime intermediară și au avut magnitudini între 4,0 și 6,0 (Figura 3). O listă a cutremurelor utilizate în această fază este prezentată în raportul extins al fazei.

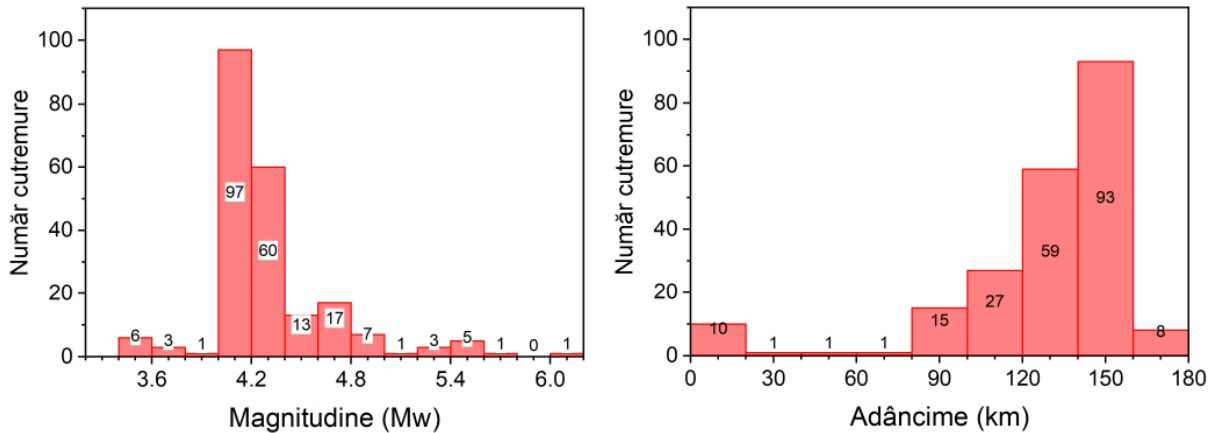


Figura 3. Numărul cutremurelor selectate în funcție de magnitudine și adâncime

Trebuie menționat faptul că până în anul 2004 înregistrările seismice folosite au provenit numai de la stațiile K2 și sunt în formatul Kinematics evt. Începând cu 2004, au apărut primele stații cu transmisie în timp real, datele de la aceste stații fiind în format mseed. Pentru a obține o bază de date omogenă cu parametrii mișcării terenului s-a ales să se facă o procesare unitară a datelor provenite de la accelerometrele K2 și de la senzorii de accelerație instalați la stațiile care formează Rețeaua Seismică Națională. În acest scop, au fost dezvoltate o serie de scripturi în Python care au la bază practici acceptate de către comunitatea seismologică privind procesarea înregistrărilor mișcărilor puternice (Shakal et al., 2003, 2004; Boore and Bommer, 2005). Mediul Python asigură scripturilor dezvoltate o serie de specificități importante, dintre care merită amintite: independența de platforma de operare, ușurința automatizării proceselor, conectarea cu o comunitate importantă de dezvoltatori de programe open-source.

Procesarea automată a datelor s-a făcut în trei etape:

### I. Obținerea accelerațiilor necorectate

Datele înregistrate în counts sunt transformate în unități fizice printr-o simplă aplicare a unei constante de calibrare. Nu este nevoie de o corecție de instrument deoarece răspunsul accelerometrului este plat până la zero, și frecvență de tăiere a filtrului trece-jos aplicat în etapa următoare este mai mică decât frecvența proprie a accelerometrului. Tot în această etapă se face corecția liniei de zero pentru întreaga înregistrare (Figura 4).

### II. Obținerea accelerațiilor, vitezelor și deplasărilor corectate

Seriile de timp pentru accelerații, viteze, deplasări sunt obținute prin aplicarea corecției pentru trendul accelerogramei, a filtrării care asigură un conținut de frecvențe al înregistrării în domeniul de răspuns al instrumentului și a calcului raportului semnal-zgomot care asigură un nivel al semnalului peste cel al zgomotului (Figura 4). Pentru calculul raportului semnal-zgomot se face mai întâi detecția primei sosiri printr-un algoritm care folosește metoda Auto Regression - Akaike Information Criterion (AR-AIC) (Akazawa, 2004). Acest algoritm a fost implementat în ObsPy (Beyreuther et al., 2010). Pentru situațiile în care înregistrarea prezintă un nivel de zgomot mare înainte de P, există un plan de rezervă pentru estimarea sosirii undei P și anume calcularea teoretică a sosirii undei P folosind modulul TauP (Crotwell et al., 1999) din ObsPy. Odată detectată unda P, se

stabilește durata înregistrării pe baza unui algoritm care compară nivelul de zgomot din fața undei P cu nivelul coda. Această estimare a duratei se face doar pentru stațiile care înregistrează continuu. Stațiile K2 înregistrează prin declanșare pentru o durată predefinită. Înregistrările care nu au un raport semnal-zgomot peste un prag definit sau care nu trec etapa de verificare sunt mutate într-un director în care se regăsesc fișierele cu probleme. Pentru toate celelalte, vitezele și deplasările se obțin prin integrarea și dubla integrare din accelerație. Exemple de serii de timp (accelerație, viteză, deplasare) obținute pentru o stație K2 și una în timp real sunt prezentate în figurile 9 și 10.

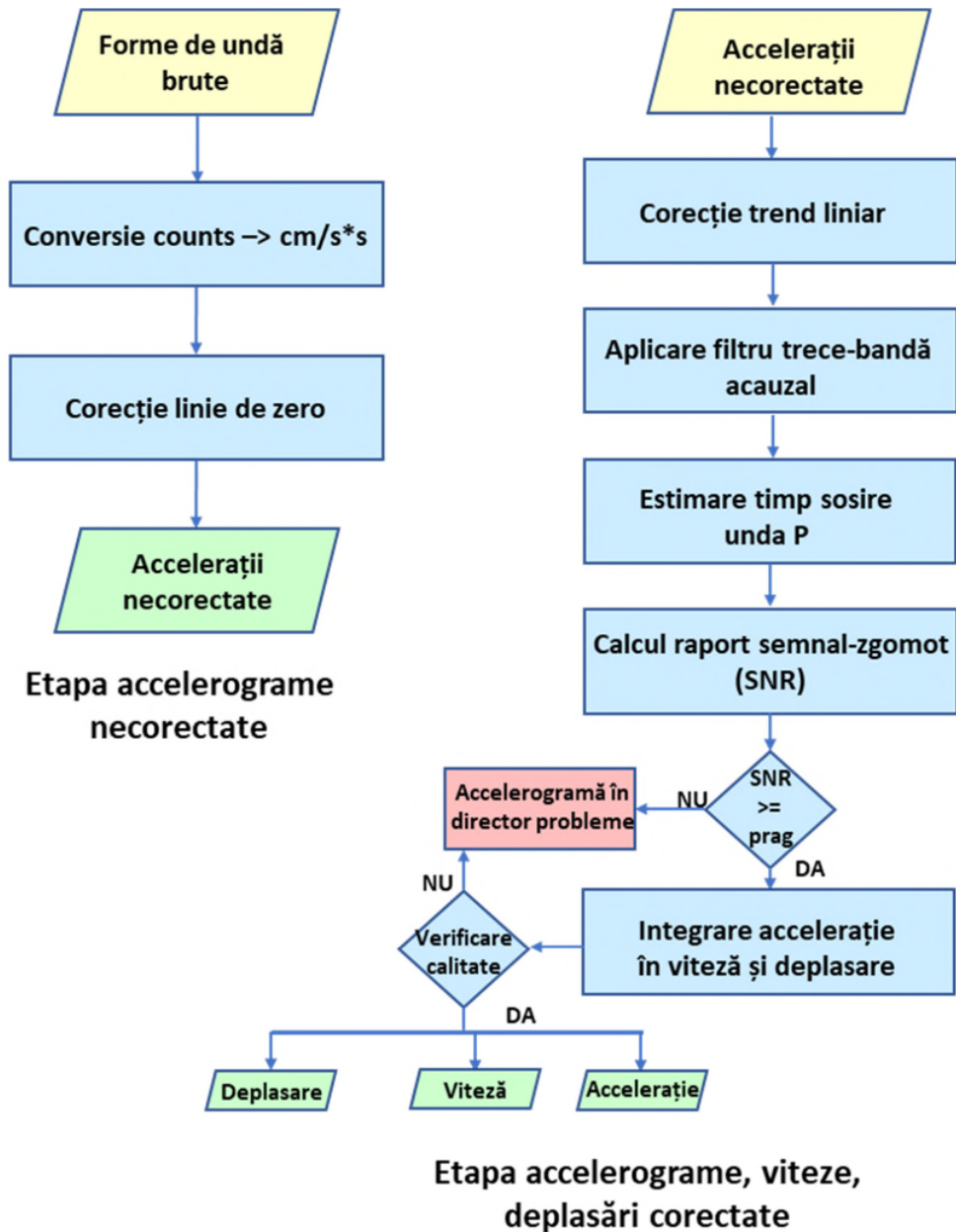
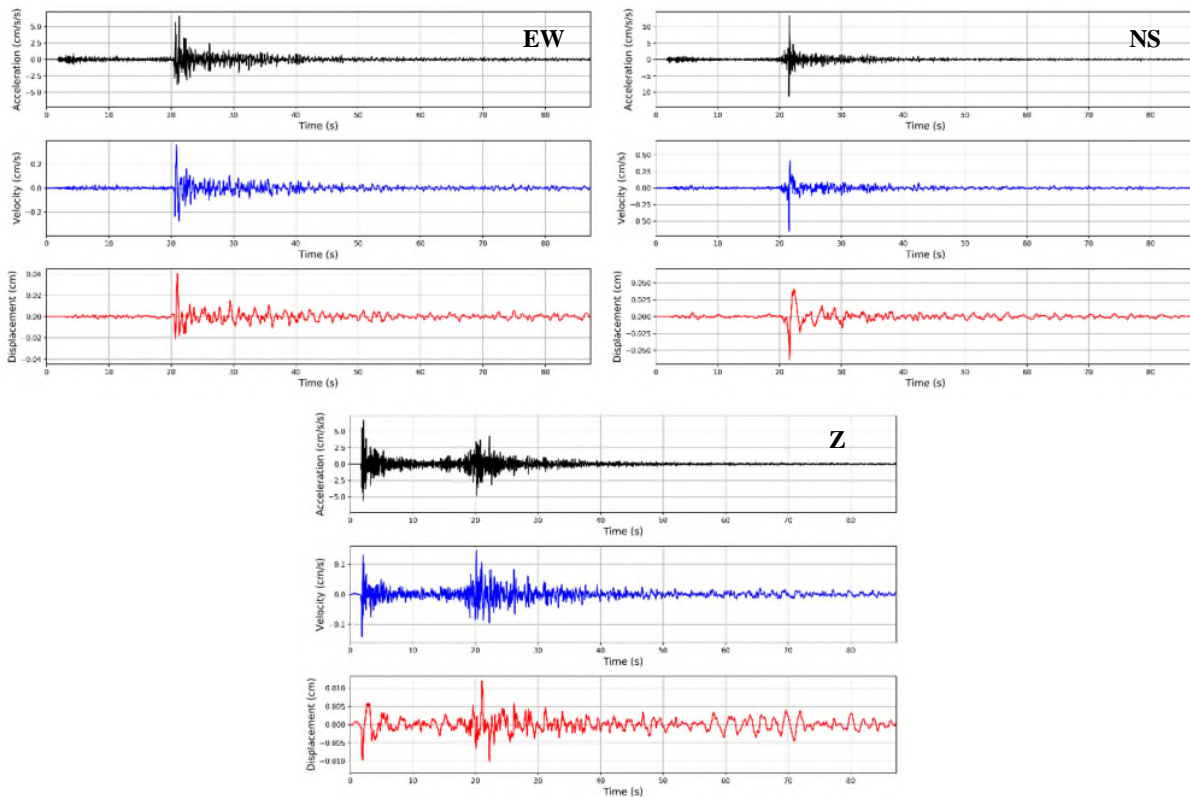


Figura 4. Diagramele etapelor de procesare a accelerogramelor brute pentru obținerea accelerațiilor necorectate și accelerațiilor, vitezelor și deplasărilor corectate

### III. Obținerea spectrelor de răspuns și a altor parametri ingineresti

Spectrele de răspuns (SA- accelerație absolută, SV- viteză relativă, SD-deplasare relativă) sunt calculate folosind metoda numerică Nigam and Jennings (1969) pentru o amortizare critică de 5% (se poate selecta amortizarea) pentru perioade cuprinse între 0,04 și 4 s. Exemple de spectre de răspuns sunt date în figura 5. Mai multe exemple sunt prezentate în raportul extins. Scripturile dezvoltate permit calcularea și a altor parametri care nu sunt folosiți în ShakeMap, dar sunt de interes ingineresc: viteza cumulativă absolută, intensitatea Arias, intensitatea caracteristică, intensitatea Housner, intensitate accelerației spectrale, raportul PGA/PGV, perioada predominantă, raportul SA/PGA, durata mișcării puternice, etc.

Pentru fiecare eveniment procesat, parametrii mișcării terenului sunt salvați în două fișiere: un fișier în format xml pentru ShakeMap care conține doar parametrii folosiți ca date de intrare pentru generarea hărților ShakeMap (PGA, PGV, SA03s, (SA07s), SA1.0s, (SA1.6s), SA3.0s) și un fișier în format csv care conține toți parametrii.





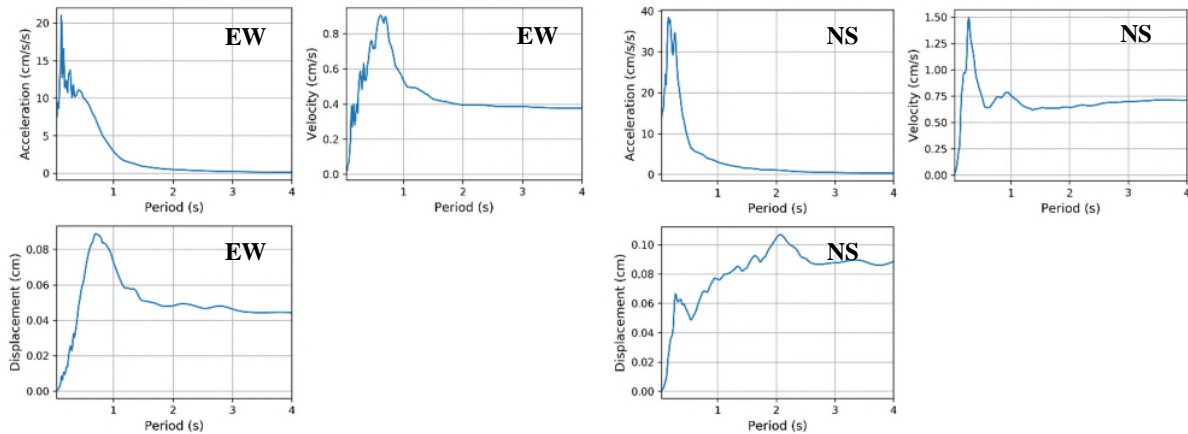


Figura 5. Serii de timp (acelații, viteze, deplasări) și spectre de răspuns (acelație, viteză, deplasare) obținute la stația K2 INB (INCERC) pentru cutremurul din 28 aprilie 1999,  $M_w = 5,3$

## Bibliografie

- Allen T.I & D.J. Wald D. (2009b). Evaluation of Ground-Motion Modeling Techniques for Use in Global ShakeMap—A Critique of Instrumental Ground-Motion Prediction Equations, Peak Ground Motion to Macroseismic Intensity Conversions, and Macroseismic Intensity Predictions in Different Tectonic Settings. USGS open-File Report 2009–1047.
- M. Beyreuther, R. Barsch, L. Krischer, T. Megies, Y. Behr and J. Wassermann (2010) ObsPy: A Python Toolbox for Seismology SRL, 81(3), 530-533 DOI: 10.1785/gssrl.81.3.530
- Boore, D. M., W. B. Joyner, and T.E. Fumal (1997). Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, *Seism. Res. Lett.*, 68, 128-153.
- Boore D.M. Bommer J.J. Processing of strong-motion accelerograms: Needs, options and consequences. *Soil Dynam. Earthq. Eng.* 2005; 25, 93–115.
- Crotwell, H. P., Owens, T. J., and Ritsema, J. (1999), The TauP Toolkit: Flexible seismic travel-time and ray-path utilities, *Seismological Research Letters*, 70 (2), 154-160.
- Ionescu, C.; Danet, A.; Sorensen, M. B.; Zaharia, B.; Stromeyer, D.; Grunthal, G. (2007) Implementation of the Near Real Time ShakeMap System in Romania. American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract #S51A-0215.
- Midorikawa S. (2005) Dense Strong-Motion Array in Yokohama, Japan, and Its Use for Disaster Management . *Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences. Directions in Strong Motion Instrumentation*. Ed. Springer Netherlands Volume 58, Pages 197-208
- Nigam, N. C., & Jennings, P. C. (1969). Calculation of response spectra from strong-motion earthquake records. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59(2), 909-922.
- M. C. Oncescu, V. I. Marza, M. Rizescu, M. Popa, The Romanian earthquake catalog between 1984–1997, in *Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*, F. Wenzel et al., Ed. (Kluwer, Dordrecht, 1999), pp. 43–47.
- Shakal A.F. Huang M.J. Graizer V.M. Strong-motion data processing, in *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, B.W. H. K. Lee, H. Kanamori, P. C. Jennings, and C. Kisslinger (Editors), Academic Press, Amsterdam, 2003 The Netherlands, 967–981.

Shakal A.F. Huang M.J. Graizer V.M. California Strong-Motion Instrumentation Program Processing Methods and Procedures, Proc. of COSMOS Invited Workshop on Strong-Motion Processing, 111–122, in COSMOS Pub. CP-2004/02, 246 pp.

V. Sokolov, K.-P. Bonjer, F. Wenzel, B. Grecu, and M. Radulian. Ground-motion prediction equations for the intermediate depth Vrancea (Romania) earthquakes. Bulletin of Earthquake Engineering, 6:367–388, 2008

Wald, D. J., V. Quitoriano, T. H. Heaton, H. Kanamori, C. W. Scrivner, and C. B. Worden (1999a). TriNet "ShakeMaps": Rapid Generation of Peak Ground-motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California, Earthquake Spectra, Vol. 15, No. 3, 537-556.

Worden C.B., Wald, D.J., Allen, T.I. Lin, K., Garcia D., Cua, G. (2010). A Revised Ground-Motion and Intensity Interpolation Scheme for ShakeMap. Bulletin of the Seismological Society of America. 100:6 , pp. 3083-3096

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

Rezultatele obținute în cadrul fazei sunt:

- i) un studiu privind metodologia de generarea a hărților de tip ShakeMap la nivel internațional și național;
- ii) un algoritm dezvoltat în Python pentru procesarea unitară a datelor în format evt și mseed provenite de la stațiile Kinematics K2 și stațiile RSN care înregistrează continuu mișcarea terenului în scopul obținerii parametrilor necesari generării hărților de tip ShakeMap și a altor parametrii de interes ingineresc;
- iii) algoritm dezvoltat în Python pentru scrierea parametrilor în formatul de intrare pentru ShakeMap, xml;
- iv) o bază de date cu parametrii pentru ShakeMap (PGA, PGV, SA03s, SA07s, SA1.0s, Sa1.6s, Sa3s) și parametrii de interes ingineresc (Intensitatea Arias, Intensitatea Housner, durata mișcării puternice, viteza cumulativă absolută, perioada predominantă, etc.) pentru toate cutremurele de suprafață cu  $M_w \geq 3,5$  și intermediare cu  $M_w \geq 4,0$  produse în România în perioada 1996-2018.

**Obiectivele fazei au fost îndeplinite în totalitate iar rezultatele obținute sunt în concordanță cu țintele propuse.** Acest proiect își propune implementarea în cadrul INCDFP a noului sistem de generarea a hărților cu distribuția parametrilor mișcării terenului bazat pe versiunea de ShakeMap 4.0, acțiune care se va realiza propriu-zis în etapa a doua a proiectului. Aceasta va urmări dezvoltarea de noi coduri și optimizarea celor originale pentru condițiile din România și realizarea de teste pentru identificarea parametrilor optimi de configurare a sistemului. Testele necesită rularea multiplă a sistemului ShakeMap pentru diferite cutremure care s-au produs în România și implicit existența parametrilor mișcării terenului (PGA, PGV, SA, etc.) determinați prin procesarea înregistrărilor obținute la stațiile seismice în timpul acestor cutremure. Astfel, rezultatele obținute în cadrul acestei faze constituie setul de date necesar generării hărților ShakeMap test din faza 2.

**Indicatori:** Rezultatele obținute în această fază au fost/vor fi prezentate la următoarele conferințe științifice internaționale:

A XIX a GeoConferință Internațională Științifică Mutidisciplinară, 28 iunie-7 iulie 2019, Albena, Bulgaria

1. **ANOMALOUS GEOMAGNETIC VARIATION ASSOCIATED WITH THE VRANCEA EARTHQUAKE (MW=5.5) ON 28 OCTOBER 2018**, autori Andrei Mihai, Victorin-Emilian Toader, Iren-Adelina Moldovan

A XXVII a Adunarea Generală a IUGG, 8-18 iulie 2019, Montreal, Canada

2. **Real Time Estimation of Peak Ground-motion Parameters and Moment Tensor Computation for Vrancea intermediate depth earthquakes**, autori Victorin-Emilian Toader, Iren-Adelina Moldovan, Constantin Ionescu, Alexandru Marmureanu, Andrei Mihai
3. **Seismic Wave Attenuation in the Southeastern Carpathian Bend Region**, autori L. Ardeleanu

Al IX lea Workshop Internațional Balcanic pentru Fizică Aplicată și Știința Materialelor (IBWAP), 16-19 iulie 2019, Constanța România

4. **Spatio-temporal distribution of seismicity and source properties at Izvorul Munelui dam northeast Romania**, autori Borleanu, F., A.O. Placinta, N. Poiata, L. Manea, M. Popa, I.A. Moldovan
5. **Seismic Sources from West and North-Western part of the Romanian territory**, autori Diaconescu, M., C. Ghita, S. Shchrebina, E. Oros, E. Constantinescu, M. Marius
6. **Active faults from the Western part of Southern Carpathians (Romania)**, autori Diaconescu, M., C. Ghita, Razvan Raicu, E. Oros, E. Constantinescu, M. Marius
7. **Clustering of seismicity in the Vrancea subcrustal domain/at the South-Eastern Carpathians arc bend**, autori Placinta, A.O., E. Popescu, F. Borleanu, M. Radulian
8. **The 1991 seismic crisis from West Romania and its impact on the seismic risk and hazard management**, autori Oros, E., A.O. Placinta, M. Popa, M. Diaconescu

Școala Internațională de Seismologie 2019, 09-13 septembrie 2019, Chișinău, Moldova – prezentare orală acceptată

9. **Next-Generation of ShakeMap for Romania and Neighboring Countries.**, autori B. Grecu, A. Danet, L. Manea, E. Manea, D. Toma, A. Tigănescu, A. Constantin, C. Neagoe, C. Ionescu

Al X lea Congres al Societății Balcanice de Geofizică, 18-22 septembrie 2019, Albena, Bulgaria – 2 prezentări orale acceptate

10. **Next-Generation of ShakeMap for Romania and Neighboring Countries**, autori B. Grecu, A. Danet, L. Manea, E. F. Manea, A. P. Constantin, C. Neagoe, C. Ionescu
11. **Non-invasive Studies Using Ambient Vibrations in Romania**, autori B. Grecu, A. Tigănescu, E. F. Manea, C. Neagoe, B. Zaharia

În perioada 07.07.2019 – 12.07.2019 au fost efectuate măsurători de zgomot în vederea determinării amplificărilor locale în zona Carpaților de curbură (zona Vaarlam, Buzău) necesare pentru îmbunătățirea ShakeMap. De asemenea, este în lucru o lucrare științifică care are la bază rezultatele obținute în cadrul acestei faze. Lucrarea va fi trimisă spre publicare într-o revistă de specialitate cu factor de impact ISI (ex. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Journal of Earthquake Engineering).

Responsabil proiect

*Grecu Bogdan*