

Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului
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. Ing. Gheorghe Marmureanu

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: PN 16 35 02 01

Proiectul: Cercetări privind îmbunătățirea sistemului de alertare la cutremure prin utilizarea combinata a abordărilor „regionala” si „on-site”

Faza 3: Evaluarea performantelor in timp real a sistemului de alarmare folosind abordările „regionala” si „on-site”

Termen: 20.12.2017

1. Obiectivul proiectului: EVALUAREA SI REDUCEREA RISCULUI SEISMIC PENTRU CRESTEREA REZILIENȚEI SOCIETATII
2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Creșterea eficienței sistemului de alarmare la cutremure, prin realizarea de aplicații software noi, care vor integra rezultatele celor două metodologii „regionala” și „on-site”. Prin utilizarea combinată a celor două metodologii, sistemul de alarmare va fi îmbunătățit, în special pentru „zonele oarbe”, zone pentru care notificările la cutremure semnificative, folosind abordarea „regionala”, utilizată în cadrul INCDFP, ar fi trimise după ce efectele ar fi simțite. Prin folosirea abordării combinate, posibili utilizatori din „zonele oarbe” ar putea fi notificați în cazul unor cutremure puternice.

3. Obiectivul fazei:

Elaborarea si testarea unui algoritm de estimare rapida a magnitudinii cutremurelor folosind o singura stație seismică sau cele mai apropiate de epicentru pentru creșterea timpului de alarmare.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Testarea si dezvoltarea de metodologii automate pentru estimarea rapida a tăriei cutremurelor, folosind primele secunde ale mișcării solului înregistrate

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

Sistemele de alarmare la cutremure (EWS) reprezintă o disciplină relativ recentă în seismologie care își datorează existența dezvoltării unor metodologii automate de procesare a datelor seismice și de predicție a mișcării puternice a solului folosind primele secunde ale înregistrării undelor seismice. Ideea de bază a sistemelor de alarmare la cutremure este aceea că la o distanță de ordinul câtorva zeci / sute de kilometri de sursă, folosind mijloace de comunicație și calculatoare extrem de rapide este posibilă generarea unei notificări de alarmare cu câteva zeci de secunde înainte de sosirea undelor distructive S sau a undelor de suprafață care se propaga cu 4 km/s sau 3 km/s respectiv. Metoda numită generic „metoda P” (Allen et al., 2012) , de exemplu, generează fazele asociate, localizarea și magnitudinea folosind informația disponibilă în primele secunde ale unei P înregistrată la un număr mic de stații (4-6) din vecinătatea sursei seismice. Localizarea astfel obținută permite calcularea distanței la oricare site de alarmat și , folosind relații de atenuare, estimarea valorilor maxime ce descriu mișcarea solului (acelerație, viteză sau deplasare) în locații prestabilite. Un astfel de sistem de alarmare este cunoscut în literatură ca sistem regional de alarmare la cutremure (REEWS), deoarece este bazat pe o întreagă rețea seismică ce acoperă o zonă activă seismică. O altă schemă de validare, propusă (Zhang & Jin, 2013) , utilizată în cadrul REEWS din Fujian, China, este capabilă să genereze alerta la cutremure în momentul când unda P este detectată la 3 stații seismice (număr suficient pentru o primă localizare preliminară) iar la una dintre stații s-a putut calcula cu erori minime deplasarea maximă (P_d) pentru a putea estima magnitudinea.

Aceasta abordare este total opusa unui sistem de alarmare „on-site” ce se bazează pe faptul ca întotdeauna undele P vor ajunge înaintea undelor S, si prin utilizarea unei mici ferestre de date după detecția undei P, a depășirii unui nivel de amplitudine sau de perioada predominanta se va emite alerta (Zollo et al.,2010). Acest tip de sistem de alarmare la cutremure este mai puțin precis si poate genera mai multe alarme false, dar este de preferat la distante epicentrale mici („zone oarbe”, in care alerta generata de REEWS ar fi recepționată mult prea târziu).

Cercetările recente in domeniul EWS se ocupa de alegerea parametrului ce descrie cel mai bine mărimea acestuia folosind informația din unda P, de exemplu P_d si τ_c (Wu & Kanamori, 2005), de obținerea de relații de atenuare regionale (RAR) pentru unde seismice (Campbell, 1989; Joyner & Boore, 1987; Kenneth et al., 2008), optimizarea algoritmilor de localizare a epicentrului folosind cat mai puține stații (Horiuchi et al., 2006; Satriano et al, 2008; Pinsky & Horiuchi, 2009) si optimizarea REEWS (Oth et al., 2010; Stankiewicz et al., 2013). In ultimele decenii , sisteme de alarmare la cutremure au fost implementate in diferite regiuni ale lumii.

In cadrul acestei etape s-a implementat in timp real o metoda ce utilizează deplasarea maxima pentru estimarea magnitudinii cutremurelor folosind metodologia „on-site” pentru fiecare stație pe care se detectează o faza de tip P, astfel:

$$\log P_d = a + b * M + c * \log P_d, \text{ unde } a = -7.47 (+ 0.19), b = 1.29 (+ 0.03),$$

$c = -0.81 (+ 0.07)$, unde P_d este deplasarea maxima, obținută din 4 secunde de date de accelerație, după dubla integrare.

Aplicația care generează alerte regionale in cadrul INCDFP a fost modificata pentru a permite calcularea magnitudinii pe fiecare dintre stații, imediat după detecția undelor P. Astfel, s-au efectuat teste pe 268 de cutremure înregistrate intre anii 2005 si 2017 , cu magnitudinea mai mare de $M_w=4.0$ grade. In total au fost analizate peste 8840 de forme de unda, înregistrate pe canale de accelerație sau viteza. De asemenea aceasta generează si o harta rapida (pentru Google Earth) ce permite evaluarea rapida a momentului in care unda P ajunge la fiecare dintre stațiile care participa la alarmare (Figura 1).

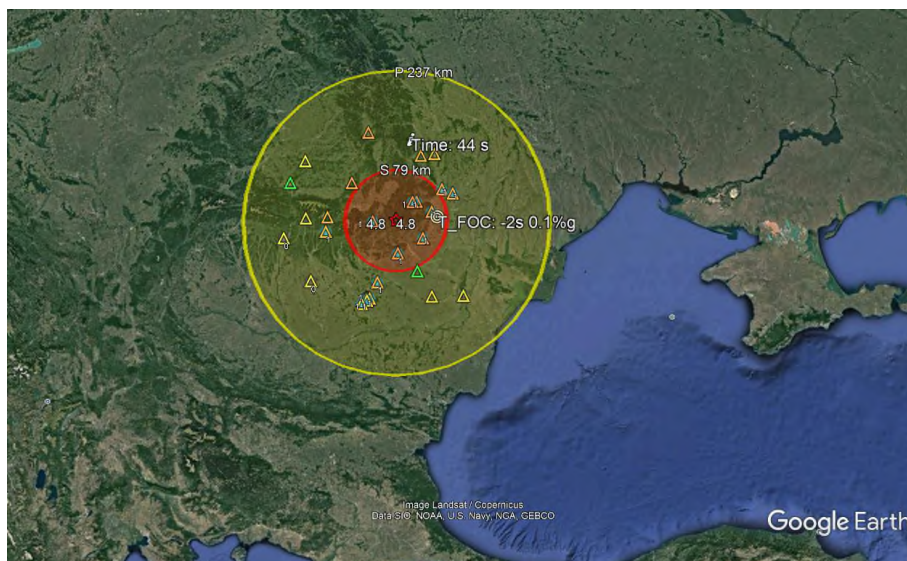


Figura 1. Propagarea undelor împreună cu detecția undelor P pentru cutremurul din Vrancea din 02.08.2017 (magnitudine 4.8)

Pentru fiecare dintre stații s-a calculat magnitudinea doar din primele 3 secunde după detecția undei P, în timp real:

2017-08-02 02:32:47.25: DISP PLOR4 mag: 4.9 Pd(cm): 0.00126475
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP MLR mag: 5.1 Pd(cm): 0.00201973
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP VRI mag: 5.1 Pd(cm): 0.00215431
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP ISR mag: 4.8 Pd(cm): 0.000817116
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP GRER mag: 5.0 Pd(cm): 0.00166953
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP ODBI mag: 5.3 Pd(cm): 0.00365132
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP JOSR mag: 3.1 Pd(cm): 4.62708e-006
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP ADJ mag: 5.2 Pd(cm): 0.00265364
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP DOPR mag: 4.7 Pd(cm): 0.000569121
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP GHRR mag: 5.4 Pd(cm): 0.00448357
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP SULR mag: 5.0 Pd(cm): 0.00158994
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP TESR mag: 4.5 Pd(cm): 0.000343744
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP VOIR mag: 4.4 Pd(cm): 0.000264183
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP MTUR mag: 4.9 Pd(cm): 0.0010255
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP BAC mag: 4.6 Pd(cm): 0.00039407
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP BSTR mag: 4.8 Pd(cm): 0.000763967
 2017-08-02 02:32:47.25: DISP mag: 4.8 Pd(cm): 0.000662581

2017-08-02 02:32:47.25: DISP mag: 4.8 Pd(cm): 0.000762892
2017-08-02 02:32:47.25: DISP BVCR mag: 4.7 Pd(cm): 0.000468542
2017-08-02 02:32:47.25: DISP BUC mag: 4.8 Pd(cm): 0.000650651
2017-08-02 02:32:47.25: DISP BAPR mag: 4.7 Pd(cm): 0.000546051
2017-08-02 02:32:47.25: DISP AMRR mag: 4.6 Pd(cm): 0.000427713
2017-08-02 02:32:47.25: DISP BUC1 mag: 5.0 Pd(cm): 0.00130082
2017-08-02 02:32:47.25: DISP ARR mag: 4.4 Pd(cm): 0.000243209
2017-08-02 02:32:47.25: DISP HARR mag: 4.7 Pd(cm): 0.000464699
2017-08-02 02:32:47.25: DISP HUMR mag: 5.0 Pd(cm): 0.00138658
2017-08-02 02:32:47.25: DISP MDB mag: 4.1 Pd(cm): 8.36853e-005
2017-08-02 02:32:47.25: DISP RMVG mag: 4.8 Pd(cm): 0.000684543

Pentru toate cele 268 de cutremure analizare s-a urmărit corectitudinea valorii de magnitudine estimata, prin comparare cu valoarea finala a magnitudinii din catalogul ROMPLUS, in vederea optimizării algoritmului „on-site” pentru teritoriul României.

In urma analizei s-au tras următoarele concluzii :

1. Exista câteva înregistrări seismice (~80), in care se observa existenta unor asocieri de unde P in cazul unor zgomote care nu sunt cutremure, înainte de momentul sosirii fazei P. In cazul acesta, calculul magnitudinii fiind realizat pe forme de unda care nu reprezintă un cutremur, eroarea depășește 2,5 grade de magnitudine deoarece nu exista un sistem de validare cu mai multe stații.
2. In majoritatea cazurilor, eroarea de magnitudine estimata doar dintr-o singura stație este sub 1.3 grade in valoare absoluta (figura 2):

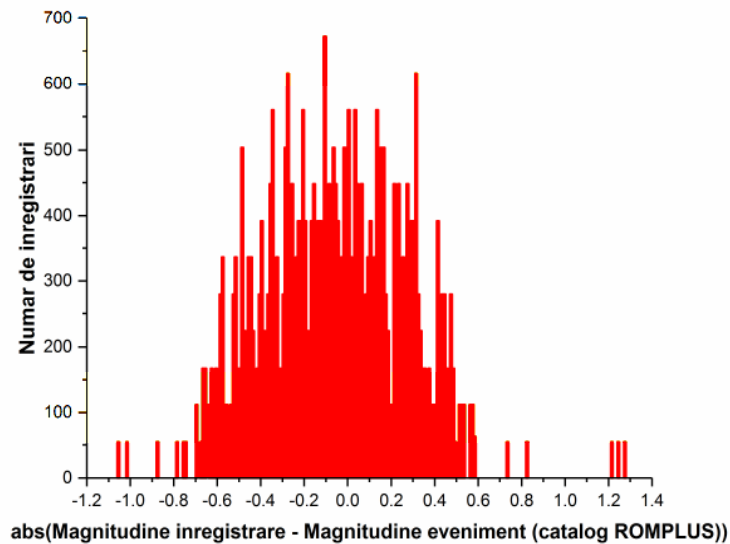


Figura 2. Eroarea de estimare a magnitudinii folosind doar înregistrări de la o stație.

Pentru analiza realizata, a fost dezvoltata o aplicație software care utilizează ca date de intrare canale de date (viteza si accelerație) înregistrate la fiecare stație si citește si analizează primele secunde după detecția undei P in vederea calculării magnitudinii.

REFERINTE

1. Allen RM, Baer G, Clinton J, Hamiel Y, Hofstetter A, Pinsky, V, Ziv A, Zollo A (2012). Earthquake early warning for Israel: recommended implementation strategy, GSI/26/2012 or GII 500/676/12 reports, December 2012. GSI and GII, Jerusalem
2. Andrews, D.J. (1986) Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size. In: S. Das, J. Boatwright and C.H. Sholtz (eds.), Proc. 5th Maurice Ewing Symp. Earthquake Source Mechanics, American Geophysical Union, Washington, D.C., 259-267
3. Boore, D. M., Boatwright, J (1984), Average body-wave radiation coefficients. Bull. Seism. Soc. Am. 74, 1615-1621

4. Campbell KW (1989). The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude, distance and site effects for small magnitude earthquakes in California and Eastern North America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79:1311-1338
5. Espinosa-Aranda JM, Cuellar A, Rodriguez FH, Frontana B, Ibarrola G, Islas R, Garcia A (2011). The seismic alert system of Mexico (SASMEX): progress and its current applications. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31:154–162
6. Gibowicz, S.J., Kijko, A., *An Introduction to Mining Seismology* (Academic Press, San Diego 1994)
7. Hsiao NC, Wu YM, Shin TC, Zhao L, Teng TL (2009). Development of earthquake early warning system in Taiwan. 36, L00B02, doi: 10.1029/2008GL036596
8. Ionescu C, Boese M, Wenzel F, Marmureanu A, Grigore A, Marmureanu G (2007). An early warning system for deep Vrancea (Romania) earthquakes. In: *Earthquake early warning systems*. Springer, Berlin, pp 343–349
9. Joyner WB, Boore DM (1988). Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion, *Proceedings of Earthquake Engineering and Soil Dynamics II*, GT DIV/ASCE, Utah, June 27-30, 43-102
10. Mărmureanu A., Ionescu C., Cioflan C.O., *Advanced real-time acquisition of the Vrancea earthquake early warning system*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* (2010), doi 10.1016/j.soildyn.2010.10.002
11. Pinsky V, Horiuchi S (2009). Hypocenter location of mixed events in real-time processing systems. *Journal of Seismology*, 13(4):589-600
12. Oth A, Bose M, Wenzel F, Kohler N, Erdik M (2010). Evaluation and optimization of seismic networks and algorithms for earthquake early warning—the case of Istanbul (Turkey). *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 115:B10311
13. Satriano C, Lomax A, Zollo A (2008). Real-time evolutionary earthquake location for seismic early warning. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98:1482–1494
14. Stankiewicz J, Bindi D, Oth A, Parolai S (2013). Designing efficient earthquake early warning systems: case study of Almaty, Kazakhstan. *Journal of Seismology*, 17:1125–1137
15. Wu YM, Kanamori H (2005). Rapid assessment of damaging potential of earthquakes in Taiwan from the beginning of P waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95:1181–1185
16. Zhang Y, Zhang J, Huang Z, Lin C, Wang S (2013). Site correction of ground motion in Fujian area. *Earthquake Science*, 26(1):55-66

17. Zhang H, Jin X (2013). Probabilistic earthquake early warning times in Fujian Province. Earthquake Science, 26(1):33–41
18. Zollo A, Amoroso O, Lancieri M, Wu YM, Kanamori H (2010). A threshold-based earthquake early warning using dense accelerometer networks. Geophysics Journal International, 183:963–974

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

Metodologia studiata permite o estimare rapida a magnitudinii cutremurelor folosind înregistrări (3 secunde de date după detecția undei P) de la o singura stație seismică din cadrul Rețelei Seismice Naționale și a fost implementată în timp real în cadrul sistemului de alarmare la cutremure, sistem operațional. În perioada următoare se va urmări stabilitatea algoritmului automat de detecție și estimare a magnitudinii, pe viitor încercând-se utilizarea combinată cu alte metodologii.

Articole publicate/submise(2017):

1. Grzegorz Lizurek, Alexandru Marmureanu, Wiszniowski Jan, Fast Moment Magnitude Determination from P-wave Trains for Bucharest Rapid Early Warning System (BREWS), PURE AND APPLIED GEOPHYSICS, DOI: 10.1007/s00024-017-1480-7
2. Manea Florinela Elena et al., Analysis of the seismic wavefield in the Moesian Platform (Bucharest area) for hazard assessment purposes, GEOPHYSICAL JOURNAL INTERNATIONAL, DOI: 10.1093/gji/ggx254
3. Marmureanu Gheorghe, Manea Florinela Elena, Cioflan Carmen, Marmureanu Alexandru, Toma-Danila Dragos, Spectral Response Features Used in Last IAEA Stress Test to NPP Cernavoda (Romania) by Considering Strong Nonlinear Behaviour of Site Soils, ROMANIAN JOURNAL OF PHYSICS, acceptat
4. Marmureanu Alexandru, Moldovan Iren, Toader Victorin, Marmureanu Gheorghe, Ionescu Constantin, SEISMIC WARNING TIME FOR VRANCEA EARTHQUAKES IN THREE LARGE DAMS SITES SITUATED IN THE EASTERN PART OF ROMANIA, ROMANIAN REPORTS IN PHYSICS, submis 2017

Participari la conferinte (2017):

1. Craiu Andreea, Craiu Marius, Mihai Nicu Marius, Diaconescu Mihail, Ghita Cristian, Catalog of focal mechanisms for Vrancea (Romania) intermediate depth earthquakes (2005-2017) 2017 Articol 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
2. Craiu Andreea, Danet Anton, Mihai Nicu Marius, Craiu Marius, Alexandru Marmureanu, Near real time focal mechanisms determination for Vrancea intermediate depth events 2017 Articol 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
3. Craiu Marius, Gallo Antoanetts, Costa Giovanni, Anton Danet, Craiu Andreea, Alexandru Marmureanu, Real time performance of the Mw estimation for Vrancea intermediate depth earthquakes recorded by the accelerometers of the National Seismic Network in 2016 2017 Articol 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
4. Diaconescu Mihail, Craiu Marius, Oros Eugen, Craiu Andreea, Constantinescu Eduard, SEISMICITY OF STREI-HATEG BASIN 2017 Articol 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
5. Ghita Cristian, Craiu Andreea, Craiu Marius, Marmureanu Alexandru, Diaconescu Mihail, ANALYSIS OF THE FAULT PLAN SOLUTIONS USING P WAVES POLARITIES AND AMPLITUDE RATIOS FOR THE SEISMIC SEQUENCE OF NOVEMBER 22, 2014 RECORDED IN VRANCEA AREA 2017 Articol 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
6. Neagoe Cristian, Grecu Bogdan, Manea Liviu Marius, IMPROVING REAL-TIME DETECTION AND LOCATION OF LOCAL SEISMIC EVENTS IN ROMANIA 2017 Articol 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
7. Neagoe Cristian, Grecu Bogdan, Mircea Radulian, FOCAL MECHANISM AND SOURCE DIRECTIVITY FOR VRANCEA INTERMEDIATE DEPTH EARTHQUAKES 2017 Articol, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
8. Muntean Alexandra, Boudewijn Ambrosius, Mocanu Victor, Eduard Nastase, Ionescu Constantin, SURFACE MOTIONS IN ROMANIA DERIVED FROM 15 YEARS OF CONTINUOUS GNSS MEASUREMENTS 2017 Articol 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference 1314-2704 / 978-619-7408-00-3

9. Eduard Nastase, Muntean Alexandra, Ionescu Constantin, Boudewijn Ambrosius, Mocanu Victor, Combined solutions for an integrated GNSS study over NW Galati seismogenic area issued from GPS continuous and campaign measurements 2017 Articol 17 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017 1314-2704 / 978-619-7408-00-3
10. Eduard Nastase, Muntean Alexandra, Ionescu Constantin, Boudewijn Ambrosius, Mocanu Victor, TESTING AND DEVELOPMENT OF HIGH-RATE GPS WAVEFORMS STUDY OVER 2016 VRANCEA SEISMIC EVENTS 2017 Poster 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science
11. Toader Victorin, Moldovan Iren, Ionescu Constantin, Marmureanu Alexandru, Seismicity analysis using earthquakes energy 2017 Articol 6th National Conference on Earthquake Engineering and the 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology - 6CNIS & 2CNISS

Capitole carti (2017):

1. Historical earthquakes: new intensity data points using complementary data from churches and monasteries, in volumul: Seismic Hazard and Risk Assessment-Updated Overview with Emphasis on Romania, Springer Verlag, in press

Responsabil proiect
Alexandru Marmureanu