

**Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului**  
**Cod fiscal : 5495458** (anexa la procesul verbal de avizare internă nr. ....)

De acord,  
**DIRECTOR GENERAL**  
**Dr.Ing. Constantin IONESCU**

Avizat,  
**DIRECTOR DE PROGRAM**  
**Dr. Mircea RADULIAN**

### **RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI**

**Contractul nr.: 31N/2019**

**Proiectul: PN 19080201 Dezvoltarea și implementarea de noi instrumente pentru seismologia în timp real și de transfer a produselor și rezultatelor cercetării către potențiali beneficiari**

**Faza 18: *Testarea performanțelor sistemului de alertare pentru zona seismică Galați***

**Termen de încheiere a fazei: 09.12.2021**

**1. Obiectivul proiectului:**

Dezvoltarea și implementarea de noi instrumente pentru seismologia în timp real și de transfer a produselor și rezultatelor cercetării către potențiali beneficiari

**2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:**

Se vor dezvolta noi algoritmi și metodologii pentru îmbunătățirea performanțelor sistemului de alarmare prin creșterea capacității de detecție și extindere a acestuia la alte zone seismice din România

**3. Obiectivul fazei:**

Îmbunătățirea performanțelor sistemului de alarmare la cutremure prin extinderea funcționalității sale pentru zona Galați.

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

- a) Noi metodologii in timp real ce permit detectia și estimarea parametrilor cutremurelor in cadrul sistemului de alertare la cutremure.
- b) Creșterea performanțelor sistemului de alertare
- c) Reducerea numărului de alerte false prin creșterea calității datelor in cadrul sistemului de alarmare

#### 5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

Una dintre cele mai eficiente metode de reducere a riscului seismic in timp real este reprezentata de implementarea in timp real de sisteme de avertizare timpurie la cutremure (EEWS- „Earthquake Early Warning Systems”). In ultimele decenii s-au inregistrat progrese semnificative in domeniu, la nivel global: sudul Californiei (Allen și Kanamori, 2003; Wu et al., 2007; Böse et al., 2008; Allen et al., 2009; Böse et al., 2009; Cua et al., 2009; Köhler et al., 2009), Japonia (Nakamura, 1988, 1996, 2004; Horiuchi et al., 2005; Nakamura și Saita, 2007; Hoshiba et al., 2008; Brown et al., 2009; Kamigaichi et al., 2009; Sokolov et al., 2010), Taiwan (Wu and Teng, 2002; Hsiao et al., 2009; Chen et al., 2012), Mexic (Espinosa-Aranda et al., 1995; Goltz and Flores, 1997; Espinosa- Aranda et al., 2009; Suárez et al., 2009), Turcia (Erdik et al., 2003; Alcik et al., 2009; Fleming et al., 2009), Romania (Wenzel et al., 1999; Ionescu et al., 2007, Marmureanu et al., 2010), Italia (Zollo et al., 2006; Weber et al., 2007; Olivieri et al., 2008; Zollo et al., 2009) and China (Peng et al., 2011).

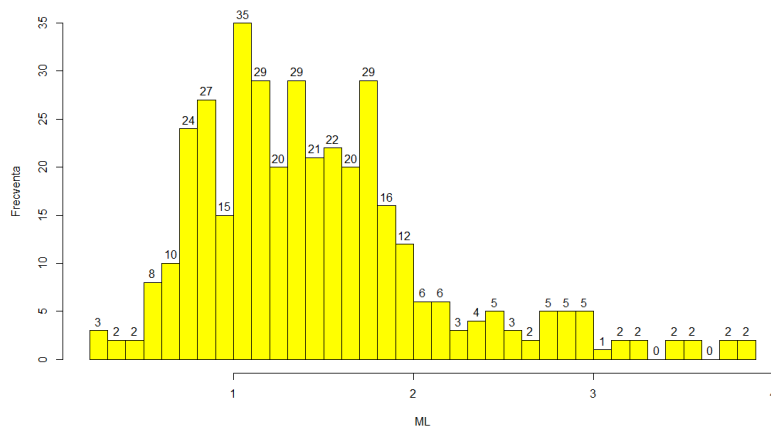
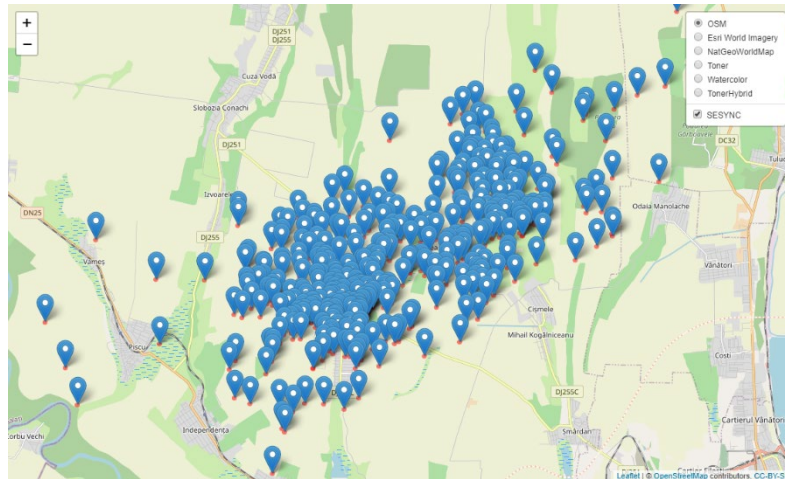
În cadrul Institutului National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP) este operațional un sistem de alarmare la cutremure centrat pe zona seismică Vrancea (<http://ews.infp.ro>). Dezvoltarea acestuia a început în anul 2002, sistemul fiind îmbunătățit începând cu anul 2006. În această perioada sistemul era destinat doar detectării cutremurelor cu magnitudine mare ( $M > 5.0$ ) și a generat doar o singură alertă pentru un eveniment cu magnitudinea  $M = 5.5$  (Mărmureanu et al., 2010, 2021). In anul 2013 INCDFP a inclus PRESTo (Probabilistic and Evolutionary Early Warning System) (Satriano et al. 2010) în cadrul sistemului de alertare la cutremure. Sistemul actual este capabil să asigure 25-31 secunde interval de alarmare teoretic pentru București, în funcție de adâncimea evenimentului seismic din zona Vrancea. Până în prezent, sistemul de alarmare a generat 51 de alerte, pentru cutremure cu magnitudinea peste  $M=4.0$ . Pentru toate alertele generate,

timpul efectiv de alertare („lead-time”) a fost întotdeauna mai mare de 22 de secunde (Mărmureanu et.al.,2021).

Sistemul de alarmare la cutremure puternice din zona seismică Vrancea a detectat și cel mai puternic cutremur înregistrat la data de 28 Octombrie 2018, cutremur cu magnitudinea  $M_L=5.8$ . Acesta a trimis notificări către centralele nucleare din Bulgaria și România și către instituțiile guvernamentale implicate în intervenția rapidă în caz de cutremur din România și Bulgaria. De asemenea, INCDFP evaluează performanțele tehnice ale trimiterii alertelor la cutremure prin intermediul diferitelor rețele sociale (Twitter/Telegram) sau prin intermediul unor aplicații dezvoltate în cadrul institutului ([ews.infp.ro](http://ews.infp.ro)).

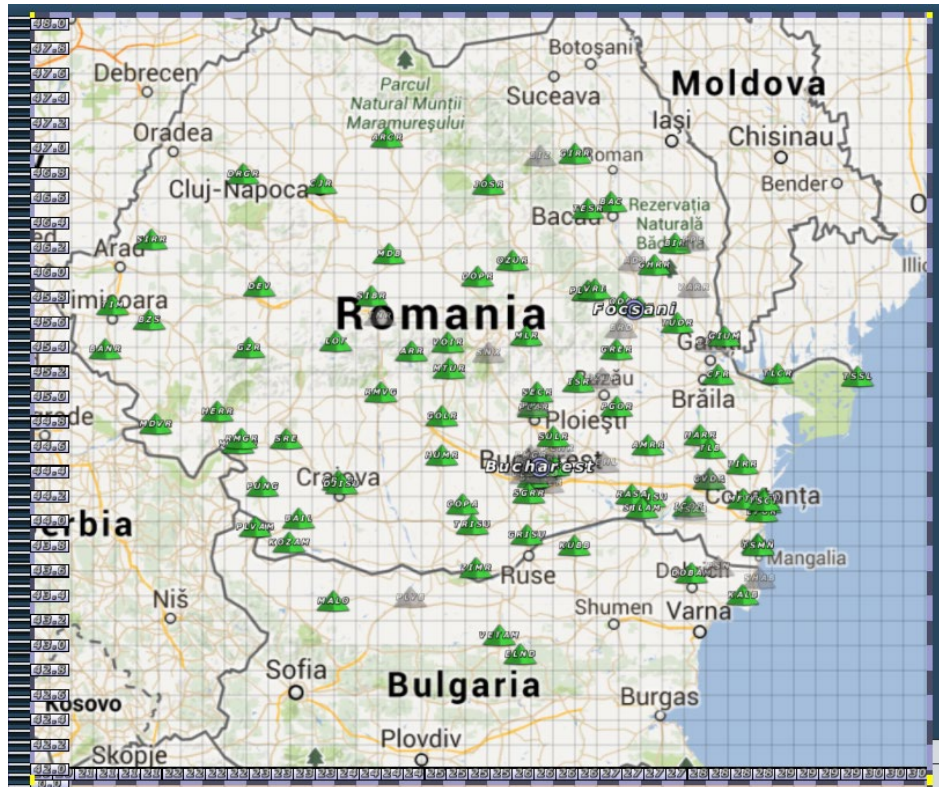
În vederea evaluării și îmbunătățirii performanțelor sistemului de alarmare la cutremure în cazul cutremurelor crustale (sistemul de alarmare operațional din zona seismică Vrancea este proiectat pentru cutremure cu adâncime intermediară între 60 km și 200 km), în cadrul acestui studiu s-a realizat testarea acestuia utilizând cutremurele semnificative înregistrate în timpul roiului de cutremure din zona Izvoarele (județul Galați) din anul 2013. Acest roi de cutremure a început în 23 septembrie 2013 și a durat până la data de 12 noiembrie 2013 (Craiu et al., 2013).

În cadrul acestui roi de cutremure (407 cutremure în total – *Figura 1*), cutremurele semnificative (cu magnitudini  $M_L \geq 3.5$  grade pe scara Richter) au fost puternic simțite de către populație, au creat panica și au produs pagube, acestea având intensitatea macroseismică de V-VI grade pe scara Mercalli. Cele mai puternice s-au simțit de către populație în municipiile Galați, Brăila și Focșani.



*Figura 1. Localizarea epicentrelor si distribuția pe magnitudine a cutremurelor înregistrate în timpul roiului de cutremure din zona Izvoarele (jud. Galați) în anul 2013*

Sistemul de alarmare la cutremure folosește un Grid 3D cu timpii de parcurs precalculați de la fiecare nod al gridului la fiecare stație seismică. Acest Grid 3D permite localizarea foarte rapidă după detectarea cutremurului la un număr de minim 6 stații seismice. Având în vedere că Gridul 3D pentru zona seismică Vrancea nu conținea stații seismice din zona de interes, acesta a fost extins de la 35 la 134 de stații pentru a putea detecta cutremurele din zona Galați. (Figura 2).



*Figura 2. Stațiile seismice utilizate pentru evaluarea performanțelor sistemului de alarmare pentru cutremurele din zona Galați și gridul la suprafața pământului*

In vederea estimării performanțelor sistemului de alertare la cutremure s-au selectat cutremurele cu magnitudinea peste  $ML \geq 3.0$  din cadrul roiului de cutremure, înregistrate de Rețeaua Seismică Națională. Astfel, în urma simulărilor efectuate pe cele 18 cutremure magnitudinea a fost estimată rapid cu o eroare de  $\pm 0.2$  grade. În cazul evenimentului din 10/5/2013 (ora 15:20:20,  $ML=3.3$ ) (Figura 4) sistemul de alertare nu a reușit detecția și estimarea magnitudinii acestui cutremur. Cu toate acestea sistemul de alarmare a reușit detectarea cutremurului de magnitudine  $ML=3.5$ , ora 15:19:08 din 10/5/2013 (Figura 4), cutremur înregistrat cu 72 de secunde înainte de cutremurul nedetectat. Cauza lipsei detecției este reprezentată de faptul că sistemul de alertare era „triggerat” în urma primului cutremur înregistrat. Prin începerea simulării cu datele care să nu includă primul eveniment sistemul a fost capabil să detecteze și al doilea cutremur independent.

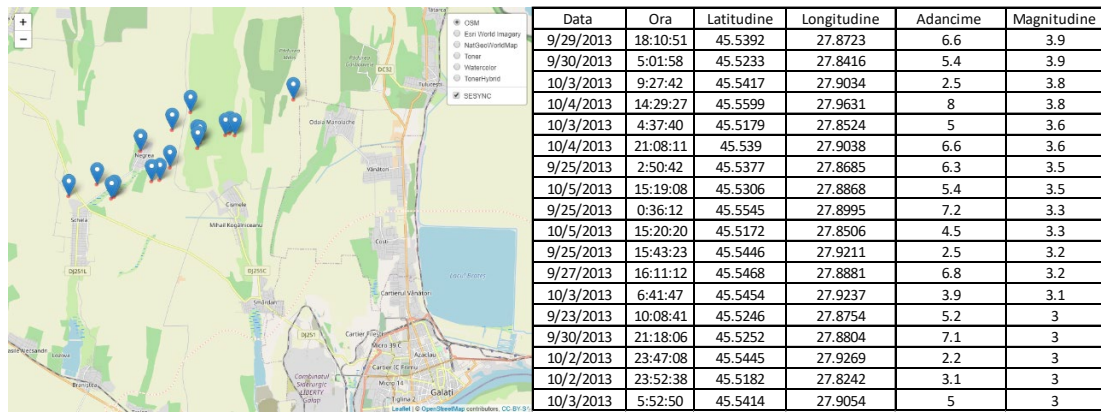


Figura 3. Cutremure cu magnitudinea  $ML \geq 3.0$  utilizate in cadrul acestei analize.

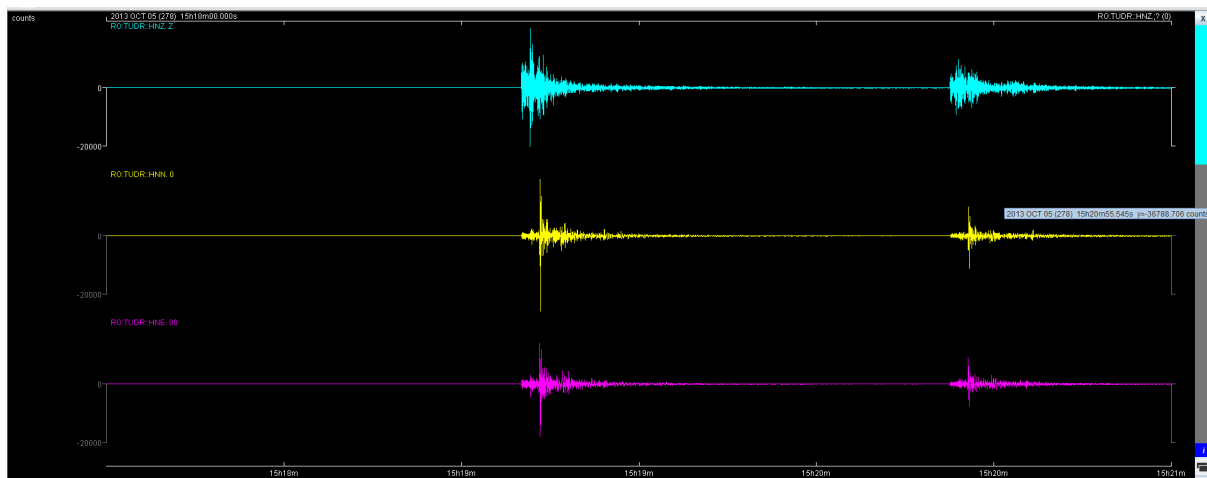


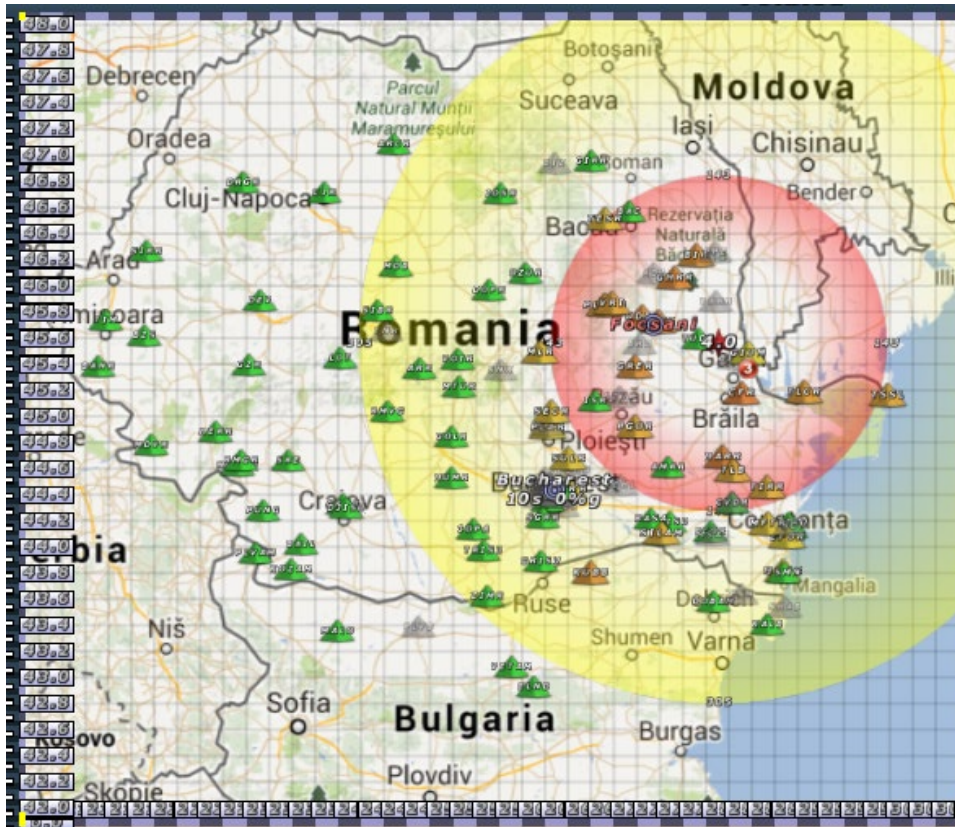
Figura 4. Doua cutremure înregistrate la interval scurt de timp in zona Galați in data de 10/5/2013

Simulările au urmărit doua direcții diferite:

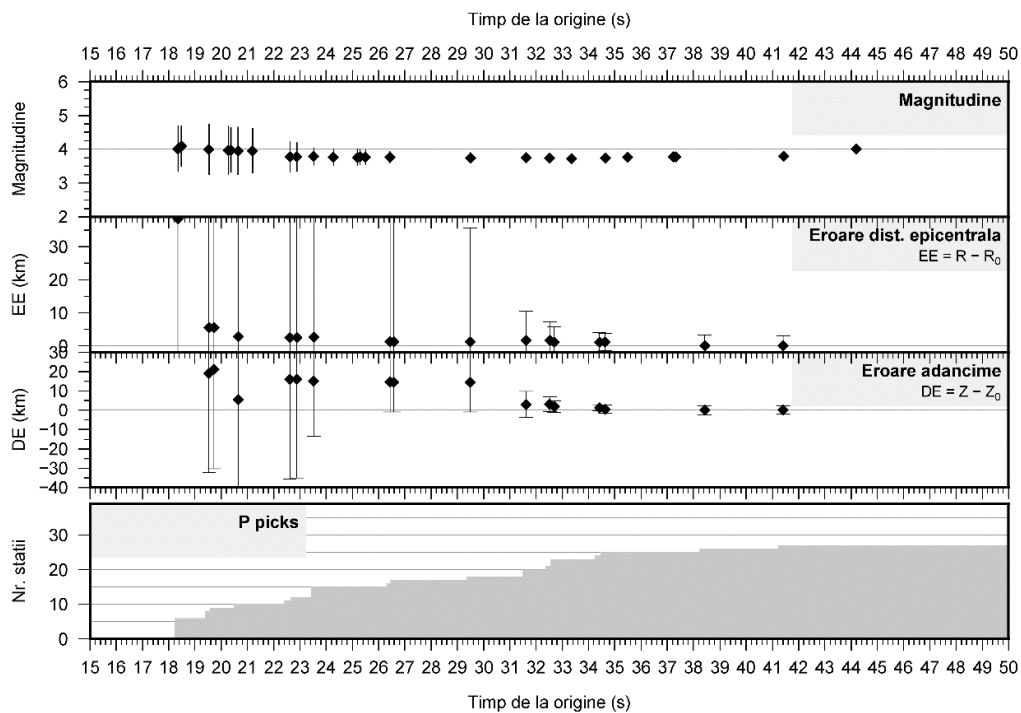
- i) optimizarea detectorului folosit în vederea evitării detecțiilor false,
- ii) evaluarea corectitudinii magnitudinii calculate utilizând date seismice utilizând diferite configurații de stații seismice.

Performantele de evaluare a magnitudinii si a localizării sunt prezentate in figurile 5 si 6 pentru doua cutremure semnificative înregistrate in timpul roiului de cutremure.

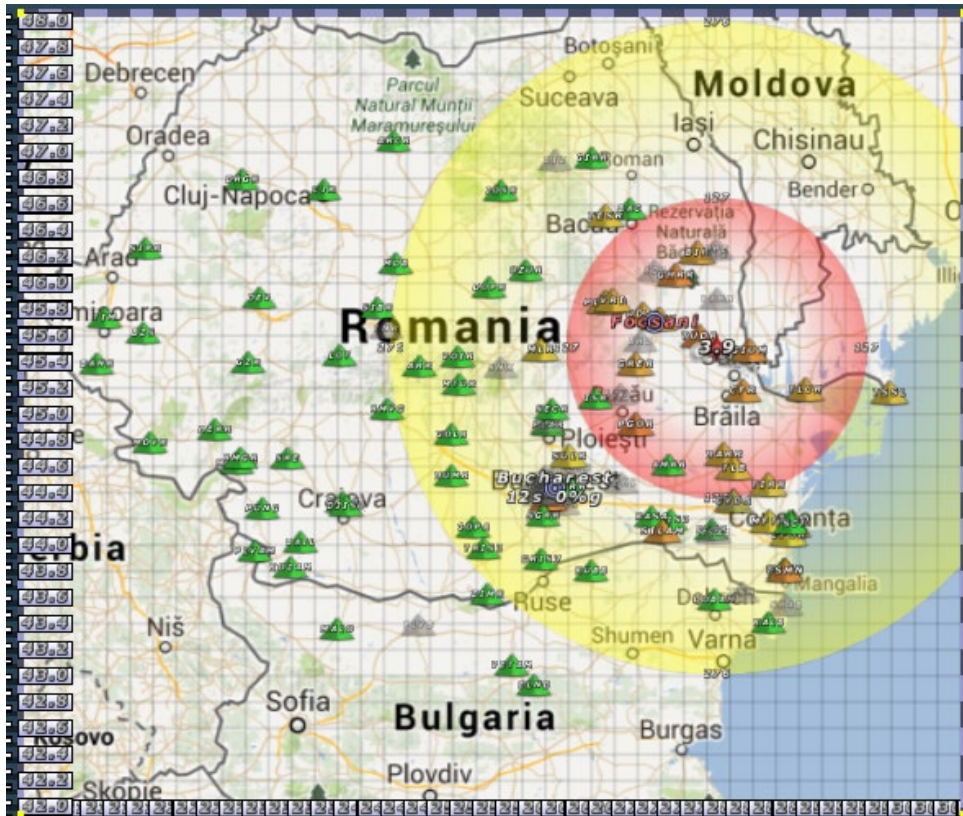




**Cutremur MI=3.9**

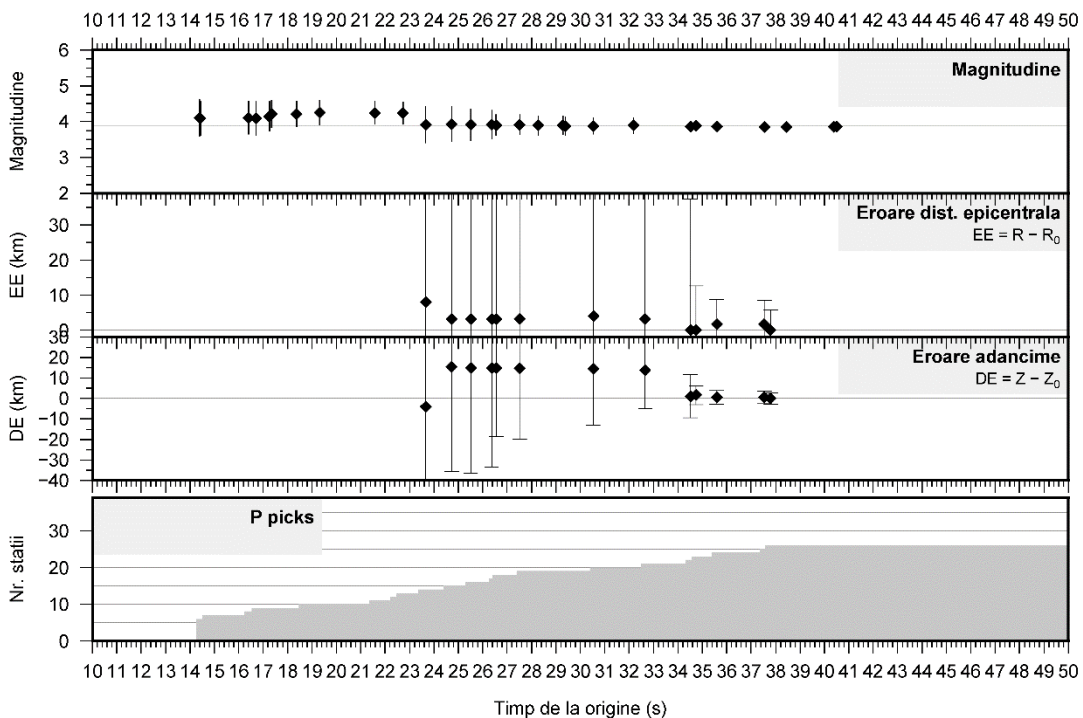


**Figura 5. Numărul de stații utilizate în localizare și erorile de estimare a parametrilor sursei seismice pentru cutremurul din data de 29.09.2013 , ML=3.9, zona Galați.**



**Cutremur MI=3.9**

Timp de la origine (s)



**Figura 6. Numărul de stații utilizate în localizare și erorile de estimare a parametrilor sursei seismice pentru cutremurul din data de 30.09.2013 , ML=3.9, zona Galați.**



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

Metodologia studiată permite o estimare rapidă a magnitudinii moment a cutremurelor puternice înregistrate de Rețeaua Seismica Națională, în zona Galați, utilizând date înregistrate în timp real. Rezultatele obținute în urma simulărilor realizate, vor fi integrate în cadrul sistemului de alertare la cutremure, în timp real, în vederea creșterii performanțelor acestuia.

Obiectivele fazei au fost îndeplinite în totalitate, iar rezultatele obținute sunt în concordanță cu țintele propuse.

Rezultatele obținute în cadrul acestei faze de lucru au fost prezentate în cadrul articolelor acceptate sau în curs de acceptare:

1. Mărmureanu A, Ionescu C, Grecu B, Toma-Danila D, Tigănescu A, Neagoe C, Toader V, Iolanda-Gabriela Craifaleanu, Claudiu Sorin Dragomir, Vasile Meiță, Oleksandr Ivanovich Liashchuk, Liliya Dimitrova, Ion Ilieș (2021) From National to Transnational Seismic Monitoring Products and Services in the Republic of Bulgaria, Republic of Moldova, Romania, and Ukraine. *Seismological Research Letters*; doi: <https://doi.org/10.1785/0220200393>
2. Giovanni Lanzano, Lucia Luzi, Carlo Cauzzi, Jarek Bienkowski, Dino Bindi, John Clinton, Massimo Cocco, Maria D'Amico, John Douglas, Licia Faenza, Chiara Felicetta, František Gallovič, Domenico Giardini, Olga-Joan Ktenidou, Valentino Lauciani, Maria Manakou, Alexandru Mărmureanu, Emeline Maufroy, Alberto Michelini, Haluk Özener, Rodolfo Puglia, Rajesh Rupakhety, Emiliano Russo, Mohammad Shahvar, Reinoud Sleeman and Nikolaos Theodoulidis, Accessing European Strong-Motion Data: An Update on ORFEUS Coordinated Services, *Seismological Research Letters*, <https://doi.org/10.1785/0220200398>
3. Computing a large refined catalog of focal mechanisms for Vrancea intermediate depth (2005–2020), Craiu Andreea, Mihai Marius, Marmureanu Alexandru, Craiu Marius, Manea Elena, ESC 2021

## Bibliografie

1. Andreea Craiu, Marius Craiu, Mihail Diaconescu, Alexandru Marmureanu, 2013 Seismic swarm recorded in Galati area, Romania: focal mechanism solutions, *Acta Geod Geophys*, 2013, DOI 10.1007/s40328-016-0161-9
2. Nakamura, Y., 1988. On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS). In: *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan.
3. Espinosa-Aranda, J.M., Jimenez, A., Ibarrola, G., Alcantar, F., Aguilar, A., Inostroza, M., Maldonado, S., 1995. Mexico city seismic alert system. *Seismological Research Letters* 66, 42–53.
4. Allen, R.M., Kanamori, H., 2003. The potential for earthquake early warning in southern California. *Science* 300, 786–789.
5. Wu, Y.M., Kanamori, H., Allen, R.M., Hauksson, E., 2007. Determination of earthquake early warning parameters,  $\tau_c$  and  $P_d$ , for southern California. *Geophysical Journal International* 170, 711–717.
6. Allen, R.M., Brown, H., Hellweg, M., Khainovski, O., Lombard, P., Neuhauser, D., 2009. Real-time earthquake detection and hazard assessment by ElarmS across California. *Geophysical Research Letters* 36, L00B08, <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036766>.
7. Böse, M., Wenzel, F., Erdik, M., 2008. PreSEIS: A neural network-based approach to earthquake early warning for finite faults. *Bulletin of the Seismological Society of America* 98, 366–382.
8. Böse, M., Hauksson, E., Solanki, K., Kanamori, H., Heaton, T.H., 2009. Real-time testing of the on-site warning algorithm in southern California and its performance during the July 29, 2008 Mw 5.4 Chino Hills earthquake. *Geophysical Research Letters* 36, L00B03, <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036366>.
9. Cua, G., Fischer, M., Heaton, T., Wiemer, S., 2009. Real-time performance of the Virtual Seismologist earthquake early warning algorithm in southern California. *Seismological Research Letters* 80, 740–747.
10. Köhler, N., Cua, G., Wenzel, F., Böse, M., 2009. Rapid source parameter estimations of southern California earthquakes using PreSEIS. *Seismological Research Letters* 80, 748–754.
11. Nakamura, Y., 1988. On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS). In: *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan.
12. Nakamura, Y., 1996. Real-time information systems for hazards mitigation. In: *Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico, Paper no. 908.
13. Nakamura, Y., 2004. UrEDAS, urgent earthquake detection and alarm system, now and future. In: *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, Paper no. 908.
14. Horiuchi, N.J., Negishi, S.H., Abe, K., Kamimura, A., Fujinawa, Y., 2005. An automatic processing system for broadcasting earthquake alarms. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95, 708–718.

15. Nakamura, Y., Saita, J., 2007. UrEDAS, the earthquake warning system: Today and tomorrow. In: Gasparini, P., Manfredi, G., Zschau, J. (Eds.), *Earthquake Early Warning Systems*. Springer, Berlin, pp. 249–282
16. Hoshiba, M., Kamigaichi, O., Saito, M., Tsukada, S., Hamada, N., 2008. Earthquake early warning starts nationwide in Japan. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 89, 73–80.
17. Brown, H., Allen, R.M., Grasso, V.F., 2009. Testing ElarmS in Japan. *Seismological Research Letters* 80, 727–739.
18. Kamigaichi, O., Saito, M., Doi, K., Matsumori, T., Tsukada, S., Takeda, K., Shimoyama, T., Nakamura, K., Kiyomoto, M., Watanabe, Y., 2009. Earthquake early warning in Japan: warning the general public and future prospects. *Seismological Research Letters* 80, 717–726.
19. Sokolov, V., Furumura, T., Wenzel, F., 2010. On the use of JMA intensity in earthquake early warning systems. *Bulletin of Earthquake Engineering* 8, 767–786.
20. Wu, Y.M., Teng, T.L., 2002. A virtual subnetwork approach to earthquake early warning. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92, 2008–2018.
21. Hsiao, N.C., Wu, Y.M., Shin, T.C., Zhao, L., Teng, T.L., 2009. Development of earthquake early warning system in Taiwan. *Geophysical Research Letters* 36, <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036596>.
22. Chen, Y.J., 2011. Earthquake early warning system using a single station. *San Lien Technics* 80, 6–10.
23. Espinosa-Aranda, J.M., Jimenez, A., Ibarrola, G., Alcantar, F., Aguilar, A., Inostroza, M., Maldonado, S., 1995. Mexico city seismic alert system. *Seismological Research Letters* 66, 42–53.
24. Goltz, J.D., Flores, P.J., 1997. Real-time earthquake early warning and public policy: a report on Mexico City's Sistema de Alerta Sismica. *Seismological Research Letters* 68, 727–733
25. Espinosa-Aranda, J.M., Cuellar, A., Garcia, A., Ibarrola, G., Islas, R., Maldonado, S., Rodriguez, F.H., 2009. Evolution of the Mexican seismic alert system (SASMEX). *Seismological Research Letters* 80, 694–706.
26. Suárez, G., Novelo, D., Mansilla, E., 2009. Performance evaluation of the seismic alert system (SAS) in Mexico City: a seismological and a social perspective. *Seismological Research Letters* 80, 707–714.
27. Alcik, H., Ozel, O., Apaydin, N., Erdik, M., 2009. A study on warning algorithms for Istanbul earthquake early warning system. *Geophysical Research Letters* 36, <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036659>.
28. Erdik, M., Fahjan, Y., Ozel, O., Alcik, H., Mert, A., Gul, M., 2003. Istanbul earthquake rapid response and the early warning system. *Bulletin of Earthquake Engineering* 1, 157–163.
29. Fleming, K., Picozzi, M., Milkereit, C., Kühnlenz, F., Lichtblau, B., Fischer, J., Zulfikar, C., Ozel, O., 2009. the SAFER and EDIM Working Groups, 2009. The Self-organizing Seismic Early Warning Information Network (SOSEWIN). *Seismological Research Letters* 80, 755–771
30. Wenzel, F., Onescu, M., Baur, M., Fiedrich, F., 1999. An early warning system for Bucharest. *Seismological Research Letters* 70, 161–169.
31. Ionescu, C., Böse, M., Wenzel, F., Marmureanu, A., Grigore, A., Marmureanu, G., 2007. An early warning system for deep Vrancea (Romania) earthquakes. In:

- Gasparini, P., Manfredi, G., Zschau, J. (Eds.), Earthquake Early Warning Systems. Springer, Berlin, pp. 343–349.
32. Zollo, A., Lancieri, M., Nielsen, S., 2006. Earthquake magnitude estimation from peak amplitude of very early seismic signals on strong motion records. *Geophysical Research Letters* 33, L23312, <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL027795>.
  33. Zollo, A., Iannaccone, G., Lancieri, M., Cantore, L., Convertito, V., Emolo, A., Festa, G., Gallovic, F., Vassallo, M., Martino, C., Satriano, C., Gasparini, P., 2009. Earthquake early warning system in southern Italy: Methodologies and performance evaluation. *Geophysical Research Letters* 36, L00B07, <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036689>.
  34. Weber, E., Iannaccone, G., Zollo, A., Bobbio, A., Cantore, L., Corciulo, M., Convertito, V., Di Crosta, M., Elia, L., Emolo, A., Martino, C., Romeo, A., Satriano, C., 2007. Development and testing of an advanced monitoring infrastructure (ISNET) for seismic early warning applications in the Campania region of southern Italy. In: Gasparini, P., Manfredi, G., Zschau, J. (Eds.), *Earthquake Early Warning Systems*. Springer, Berlin, pp. 325–341.
  35. Olivieri, M., Allen, R.M., Wurman, G., 2008. The potential for earthquake early warning in Italy using ElarmS. *Bulletin of the Seismological Society of America* 98, 495–503.
  36. Peng, H.S., Wu, Z.L., Wu, Y.M., Yu, S.M., Zhang, D.N., Huang, W.H., 2011. Developing a prototype earthquake early warning system in the Beijing capital region. *Seismological Research Letters* 83, 394–403
  37. Marmureanu, A., C. Ionescu, and C. O. Cioflan (2010). Advanced real-time acquisition of the Vrancea earthquake early warning system, *Soil. Dynam. Earthq. Eng.* 31, no. 2, 163–159.
  38. Marmureanu, A., C. Ionescu, B. Grecu, D. Toma-Danila, A. Tiganescu, C. Neagoe, V. Toader, I.G. Craifaleanu, C. S. Dragomir, V. Meişă, et al. (2021). From National to Transnational Seismic Monitoring Products and Services in the Republic of Bulgaria, Republic of Moldova, Romania, and Ukraine, *Seismol. Res. Lett.* 92, 1685–1703, doi: 10.1785/0220200393.
  39. Satriano, C., L. Elia, C. Martino, M. Lancieri, A. Zollo, and G. Iannaccone (2010). PRESTo, the earthquake early warning system for southern Italy: Concepts, capabilities and future perspectives, *Soil. Dynam. Earthq. Eng.* 31, no. 2, 137–153.

Responsabil proiect

*Dr. Alexandru Mărmureanu*