

Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului
Cod fiscal: 5495459 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL
Dr. Constantin IONESCU

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Prof. Dr.Gheorghe MARMUREANU

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr: 21N/2016

Proiectul: Reevaluarea cutremurelor istorice majore din zona Vrancea comparativ cu datele instrumentale. Implicații asupra evaluării hazardului seismic și a hărților de “Shake Map”, (PN 16 35 01 09)

Faza: 2. Determinarea hărților de daune.

Termen: 08.12.2017

1. Obiectivele proiectului

Proiectul are următoarele **obiective generale:**

O1. Baza de date și realizarea hărților macroseismice:

- Pentru fiecare eveniment studiat se va realiza o bază de date (se vor scana toate informațiile găsite), după care informațiile vor fi sortate în funcție de localități, pentru determinarea intensităților macroseismice.
- Realizarea hărților macroseismice ale cutremurelor studiate.
- Interpolarea hărților pentru cutremurele istorice cu cele din perioada instrumentală.
- Se vor căuta noi metode de comparare între evenimentele istorice și cele după sec. XX.

O2. Determinarea daunelor cu programul ELER.

- Se va întocmi o bază de date specifică pentru programul ELER necesară pentru realizarea de scenarii de daune.

Obiectivele specifice sunt:

O1.

- Harti macroseismice pe baza reevaluării cutremurelor (06/04/1790, 26/11/1828, 01/05/1893, 17/08/1893, 31/08/1894)
- Studiul comparativ al cutremurelor istorice (11/06/1738, 06/04/1790, 26/11/1802, 26/11/1828, 23/01/1838, 01/05/1893, 17/08/1893, 31/08/1894) cu cele din perioada instrumentala.

O2.

- Hărți de daune pentru evenimentele istorice.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivelor

Pentru atingerea obiectivelor proiectului avem în vedere obținerea următoarelor rezultate:
Harti de daune pentru evenimentele majore vrance de adancime intermediara .

3. Obiectivul fazei

- Realizarea hărților de daune pentru evenimentele istorice analizate în cadrul proiectului.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei

- Studiu privind estimarea efectelor produse de un cutremur vrancean major, de adancime intermediara, la nivelul teritoriului Romaniei

5. Rezumatul fazei

Softurile pentru estimarea pagubelor seismice ne dau informații referitoare la numărul de clădiri afectate și la numărul de victime, acestea putând avea ca input scenarii relevante bazate pe date observate, reanalizate și compilate din documentele istorice. Este evident că de-a lungul timpului societatea s-a schimbat, dar informațiile ce indică intensități seismice semnificative resimțite pot emite un avertisment serios, imaginându-ne că în vremurile noastre s-ar produce un cutremure similare. Astfel, se poate trage un semnal de alarmă asupra nivelului de reziliență a societății actuale.

Pentru realizarea obiectivelor propuse au fost utilizate următoarele programe: ArcGIS, ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) și SELINA (Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach).

ArcGIS este cel mai apreciat software comercial GIS (Geographical Information System) la nivel mondial, oferind modalități complexe de realizare a hărților, de analiză geospațială și de procesare a informațiilor geografice. ArcGIS a facilitat și realizarea bazei de date aferente proiectului.

ELER este un program dezvoltat în cadrul proiectului NERIES-Network of Research Infrastructures for European Seismology, care estimează cu ajutorul mai multor module

de complexitate diferită pierderile rezultate în urma unui cutremur. Acest program rulează sub Matlab, ca program de sine stătător.

SELENA este un program open-source pentru estimarea pagubelor seismice (Molina et al. 2010), fiind diferit de ELER prin perspectiva unui grad mai detaliat al modulului de estimare a pagubelor prin metode analitice (sunt mai multe metode disponibile și ofera mai multă flexibilitate în modelarea pagubelor socio-economice). SELENA stă la baza Sistemului Rapid de Estimare a Pagubelor Seismice din România (SeisDaRo).

Datele macroseismice ce au fost utilizate sunt cele rezultate în prima fază a proiectului. Acestea conțin toate informațiile macroseismice disponibile pentru fiecare eveniment în parte și intensitățile determinate.

În acest proiect determinarea valorilor intensităților culese din sursele istorice a fost făcută cu scara de intensități Medvedev-Sponheuer-Karnik, cunoscută sub numele de scara MSK sau MSK-64 (Medvedev et al., 1964). Pe baza valorilor punctelor de intensitate s-au realizat hărți de intensități care oferă o imagine asupra efectelor cutremurelor și asupra întinderii și distribuției acestor efecte.

Datele istorice contribuie la completarea catalogului de cutremure în același fel ca și datele instrumentale, conducând la calibrarea legilor de atenuare și la evaluarea hazardului seismic.

Realizarea hărților de daune este importantă pentru studiul hazardului seismic. Cu datele obținute în cadrul acestui proiect se poate realiza un studiu comparativ legat de modul de construcție al clădirilor din perioada istorică și din perioada recentă.

Prelucrarea datelor

Hărțile de daune au fost realizate în sistem GIS (Geographic Information System), cu ajutorul softului ArcMap. Valorile de intensitate au fost incluse într-o bază de date GIS care a permis și aplicarea tehnicilor de interpolare pentru obținerea izoliniilor prin metode geografice.

Metoda de interpolare folosită pentru cutremurele istorice cu nu foarte multe puncte de intensitate a fost Inverse-Distance Weight (IDW). Aceasta metodă păstrează nemodificate valorile în punctele observate și oferă un nivel de credibilitate bun între punctele adiacente, ținând cont de un număr mai mare de puncte vecine. Parametrii implicați din ArcGis pentru IDW s-au dovedit satisfăcători pentru distribuția datelor de intensitate în România. În afara granițelor țării, datorită numărului mic de date, interpolările nu pot fi de încredere. În cazul cutremurelor mai recente (precum cele din 1940, 1977 și 1986), datorită unei densități mult mai mari a punctelor de intensitate (au fost disponibile mult mai multe informații macroseismice) este recomandată utilizarea unei metode de interpolare cu un grad mai mare de generalizare pentru producerea hărților de intensitate. După efectuarea mai multor teste, am identificat metoda Kriging (având ca parametri metoda Ordinary, modelul de semivariograma sferic și numărul de puncte de căutare adiacenta de 12) ca dând rezultate vizual mai satisfăcătoare, comparativ cu metoda IDW utilizată la hărțile de intensitate pentru cutremure mai vechi, cu mult mai puține puncte de intensitate.

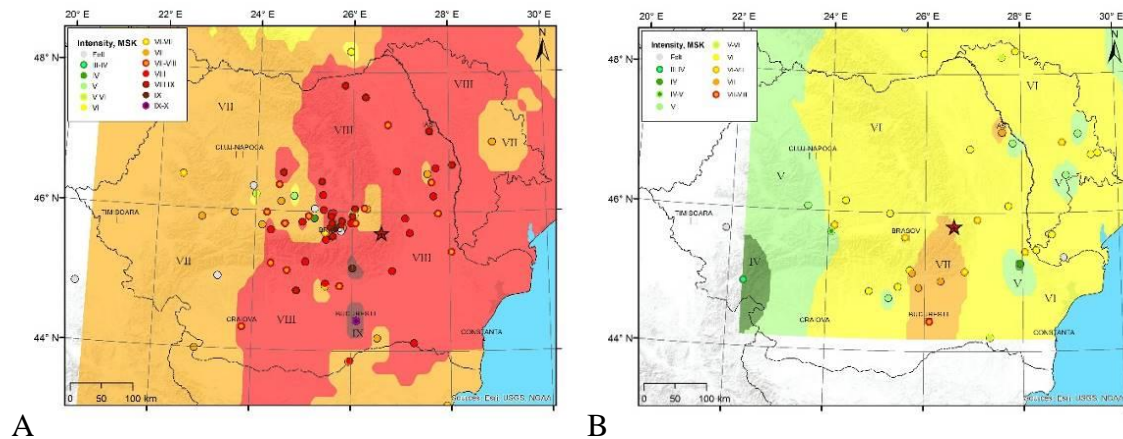
Prezentăm în continuare câteva exemple de hărți de intensitate folosite ca input pentru hărțile de daune: în Fig. 1 sunt prezentate evenimentele din 26/11/1802, 26/11/1828, 23/01/1838 iar în Fig. 2 cele din 01/05/1893, 17/08/1893, 10/09/1893 și 31/08.1894

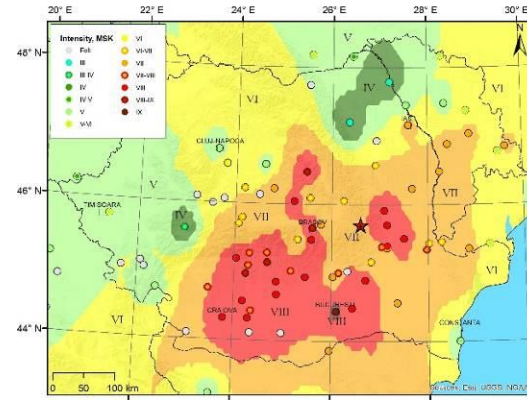
Din analiza făcută s-a observat că pentru unele zone din România (cum ar fi partea de Nord-Ves și cea de Sud-Est față de epicentrul cutremurului), lipsa valorilor de intensitate conduce la o incertitudine semnificativă privind tendința generală a atenuării intensității. Totuși, pe baza altor cutremure bine documentate (cum ar fi evenimentele din 1940, 1977 și 1986), se presupune că nu s-ar fi putut produce diferențe semnificative în realitate, comparativ cu modelul obținut.

Evenimentul din 1802 a avut magnitudinea $M_w=7.9$ și intensitatea X, conform catalogului ROMPLUS (Oncescu et al., 1999). Evenimentul a fost resimțit de la nord de San Petersburg până în insulele grecești din Marea Egee și a produs numeroase fenomene geomorfologice la nivelul solului, crăpături în teren, țâșniri de apă, a distrus și afectat multe biserici și mănăstiri, (Réthly 1952, Pamfilie, 1936, Ștefănescu 1901, etc.) provocând daune însemnate atât în Moldova cât și în Muntenia.

Evenimentul din 1829 a avut o magnitudine de $M_w=7.3$ și intensitatea de VIII-IX (Oncescu et al., 1999) fiind determinate mai puține date macroseismice și implicit mai puține valori de intensitate. Pentru acest eveniment au fost obținute valori de intensități mari în București și Iași arătând că valori ridicate ale intensitatilor pot fi obținute nu numai în zona epicentrală ci și la distanțe mai mari, pe direcția NE-SV (Réthly 1952, Ștefănescu 1901, etc.)

Evenimentul din 1838 cu magnitudinea $M_w=7,5$ și intensitatea IX, (Oncescu et al. 1999), a afectat cel mai rău orașele Craiova (Oltenia), Bucureștiul și localitățile din zona Brașovului (Réthly 1952, Ștefănescu 1901, etc.). Cele mai multe informații despre acest seism le avem din studiul făcut de consulul german Gustav Schüller imediat după producerea acestui eveniment.

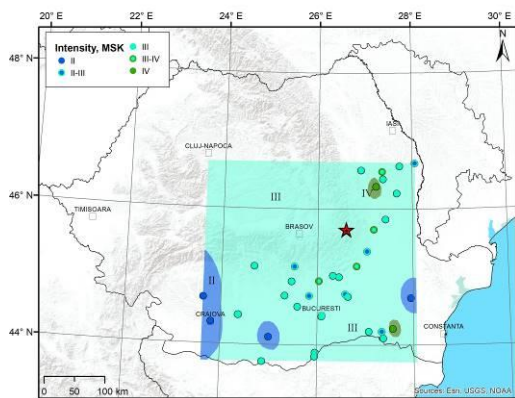




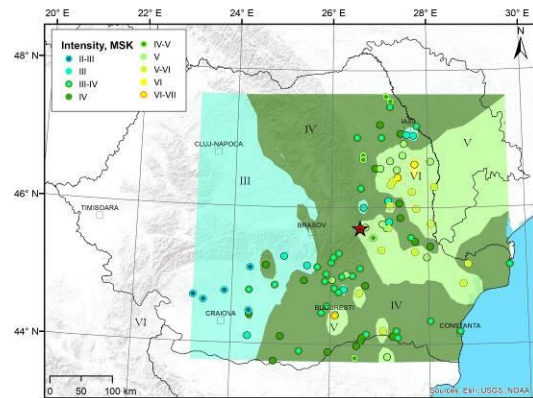
C

Fig. 1 Hartile de intensitate ale evenimentelor din 1802, 1829 și 1838.

Cutremurul din 01 Mai 1893 (Fig. 2 A) a avut magnitudinea $M_w=6,2$ și intensitatea $I=VI-VIII$ (Oncescu et al., 1999), cu efecte atât în Muntenia cât și în Moldova, (Hepites 1893). Evenimentul din 17 August 1893 (Fig. 2 B) de magnitudine $M_w=7,1$ și intensitate $I=VIII$, (Oncescu et al., 1999), după cum se vede din hartă, a avut intensități mai mari în Moldova și a fost simțit destul de puternic și în București. Cutremurul produs în 10 Septembrie 1893 (Fig. 2 C) cu magnitudinea $M_w=6,5$ și intensitate $I=VII$ (Oncescu et al. 1999) a avut efecte însemnate în partea de EV a țării, (Hepites 1894), iar evenimentul din 31 August 1894 (Fig. 2 D) cu magnitudinea $M_w=7,1$ și intensitate $I=VIII$ (Oncescu et al. 1999) a provocat daune însemnate în zona Brașovului și partea de sud a Moldovei (Hepites 1894).



A



B

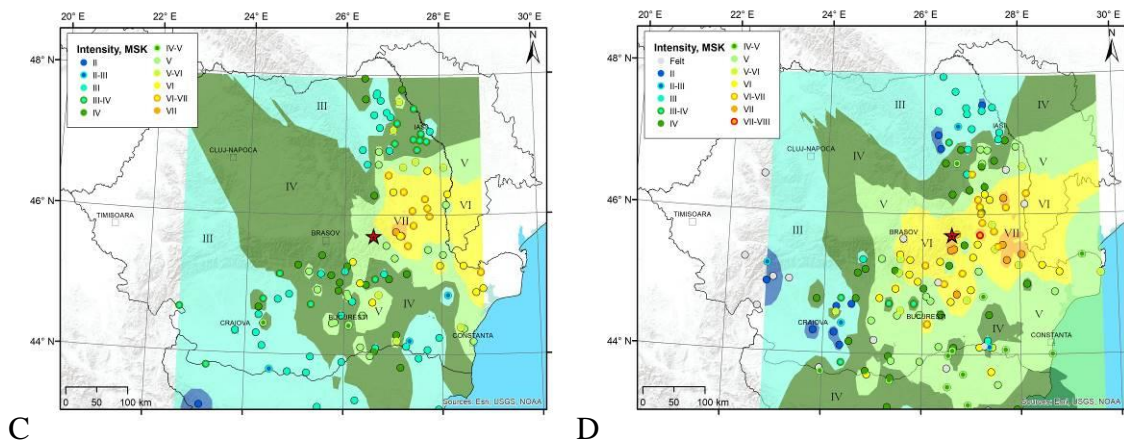


Fig. 2 Hartile intensitatilor pentru evenimentele din: 01/05/1893, 17/08/1893, 10/09/1893 si 31/08/1894

Estimarea pierderilor produse in urma cutremurelor majore analizate

Urmatorul pas în studiul nostru a fost să evaluăm ce s-ar putea întâmpla în prezent dacă s-ar produce evenimente cu intensități asemănătoare celor analizate în prezentul studiu (1738, 1802, 1838 și 17.08.1893). La începutul secolului XIX s-a produs cutremurul din 1802 (numit „Cutremurul cel mare”, datorita efectelor produse), urmat în 1829 de un eveniment de o magnitudine mai mică și apoi de unul precedat de un mai puternic în 1838. Cutremurul din 17.08.1893 are aceeași asimetrie ca și evenimentul din 10 septembrie 1893, putand presupune că au fost generate de aceeași sursă, cel din 17 august fiind un pic mai slab (Atanasiu, 1961). Pe baza diferitelor metode de estimare a pierderilor (atât empirică cât și analitică), a fost evaluat riscul seismic în ceea ce privește numărul maxim de victime (cel mai grav scenariu care implică faptul că cei mai mulți oameni se află în clădiri). Metodele și datele folosite sunt prezentate în Tabelul 1, iar rezultatele în Fig. 3.

Tabel 1 Metode si date utile pentru estimarea pierderilor seismice

Nr	Metoda	Date folosite	Comentarii
1	Vacareanu et al, 2004 (ca in ELER – Bogazici University, 2010)	Parametri folosiți sunt cei din catalogul Romplus actualizat pe situl: http://www.infp.ro/romplus/	Există trei seturi de coeficienți pentru această metodă, dar s-a considerat că forma medie este cea mai potrivită pentru cutremurele din zona Vrancea (Romania), fiind cea mai apropiată de daunele provocate de cutremurul din 1977
2	Jaiswal et al., 2009 – metoda PAGER	Hărțile macroseismice Fig. 1-2 în funcție de distribuția populației după recensământul din 2011 și coeficienții regionali specifici pentru fiecare zona din	Metoda necesită intensități determinate cu scara de intensități MMI, (The Modified Mercalli Intensity Scale, Wood et al. 1931). Pentru valorile mai mari de VI s-a considerat o

		Romania.	corespondenta directa intre scarile de intensitate MSK si MMI.
3	Sistemul Rapid de Estimare a Pagubelor Seismice din România (SeisDaRo, descris în mod cuprinzător în Toma-Danila et al., 2017 și bazat pe SELENA – Molina et al, 2010), utilizând metoda analitică I-DCM (Improved Displacement Coefficient Method) și spectrul IBC2006.	PGA și Sa at 0.3 și o secunda calculate pe baza parametrilor de cutremur din catalogul Romplus (http://www.infp.ro/romplus/) și pentru două legi de atenuare (GMPE) diferite: Sokolov (2008) și Vacareanu (2014), Fig. 3. Pentru cladirile rezidentiale au fost folosite doua seturi de date: unul din 2002 (pentru jumătate din Romania) și unul din 2011, la nivel de oraș/comună. Principalele tipologii ale cladirilor sunt analizate pe baza curbelor de vulnerabilitate, descrise de Toma_Danila et al. (2015).	Datorita configuratiei și metodologiei sale (care poate fi considerată ca fiind de ultima oră) credem că SeisDaRo ofera în prezent cele mai credibile rezultate.

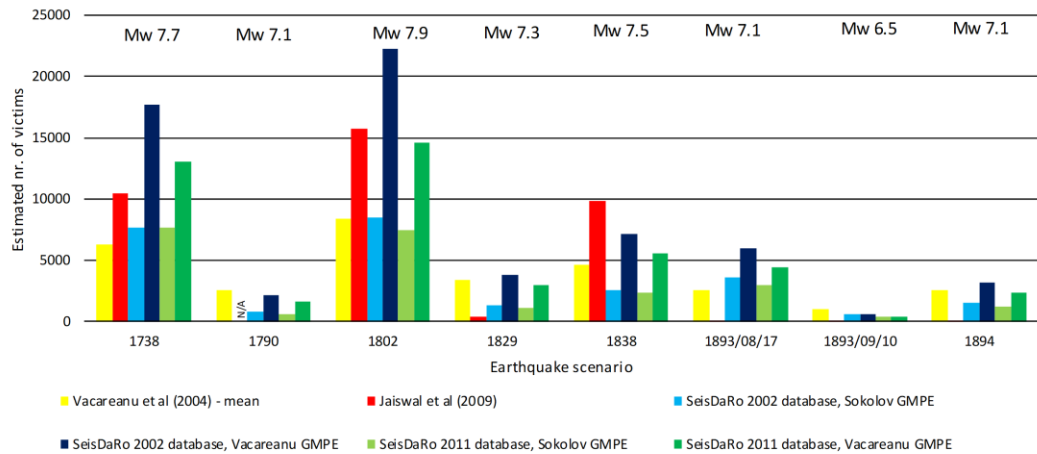


Fig. 3 Scenariu pentru estimarea persoanelor decedate pentru cel mai rau scenariu (în care toată lumea este înăuntru), obținut folosind multiple metode si date de estimare.

În Fig. 3 sunt prezentate toate cutremurele care au putut fi analizate cu metodele din Tabelul 1. Câteva evenimente nu au putut fi analizate deoarece au avut valori mici sau puncte puține de intensitate (1790, 17/08/1893, 10/09/1983 și 1894 cu metoda Jaiswal et al, 2009 și 01/05/1893).

Se poate observa că SeisDaRo pentru date din 2002 și 2011, utilizând Văcăreanu GMPE, oferă de obicei cele mai mari estimări, în special datorită accelerațiilor mari. Valorile obținute cu metoda Jaiswal et al (2009) sunt de fapt singurele bazate pe intensitățile reanalizate în cadrul acestui proiect. Pentru evenimente cu magnitudini mai mici (1829, 08.17.1893, 09.10.1893 sau 1894) se obțin estimări foarte mici ale victimelor – ceea ce poate fi considerat mai credibil, ținând cont de efectele unor cutremure mai recente cu magnitudini similare (evenimentele din 30 august 1986 și 30 mai 1990, cu Mw 7.1 respectiv 6.9). Chiar și așa, trebuie ținut cont că pentru metoda Jaiswal et al (2009), care este puternic empirică și oferă estimări cu deviații standard semnificative, este mai utilă considerarea intervalelor de probabilitate pentru grupe de victime, ajungându-se la o corespondență bună cu rezultatele pentru SeisDaRo 2002 și 2011, obținute cu Sokolov GMPE.

În figurile 4-12 sunt prezentate câteva rezultate (pentru scenariile ale cutremurelor din 1738, 1802, 1838 și 17.08.1893) obținute cu SeiDaRo pentru bazele de date din 2002 și (evenimentele 1738, 1802,1829, 1838 și 17.08.1893) pentru 2011, cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE și Văcăreanu GMPE.

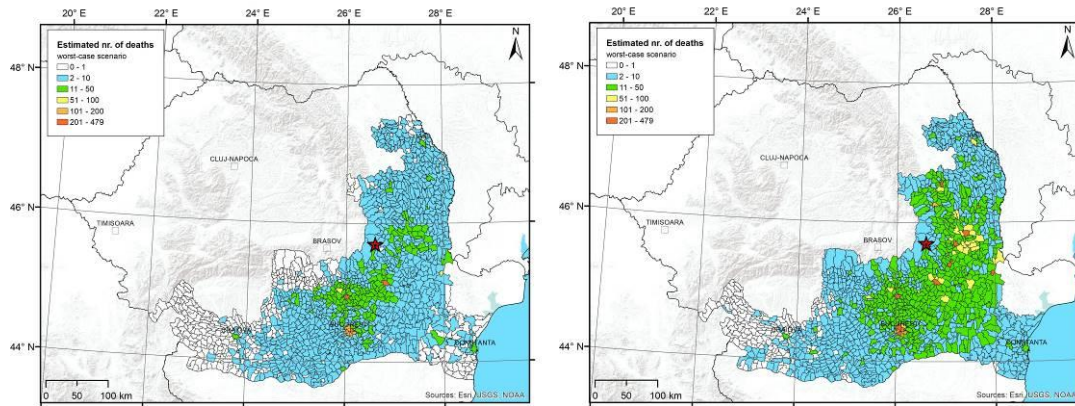


Fig. 4 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1738, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2002 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

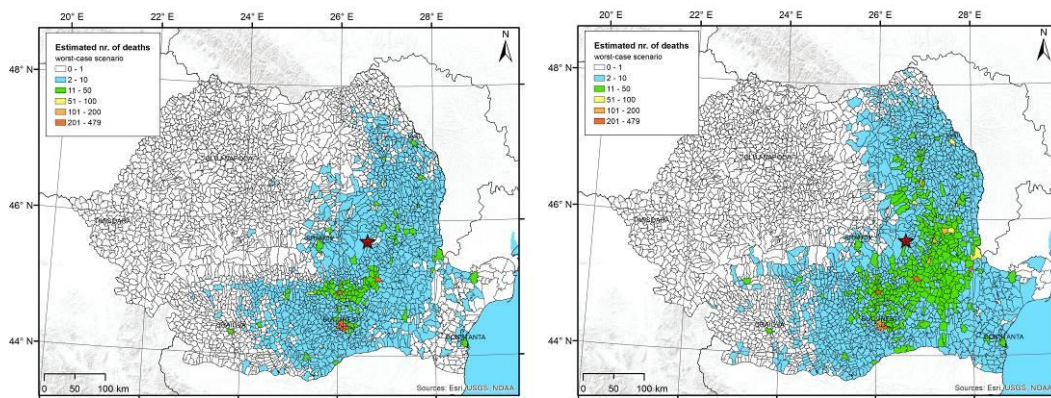


Fig. 5 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1738, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2011 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

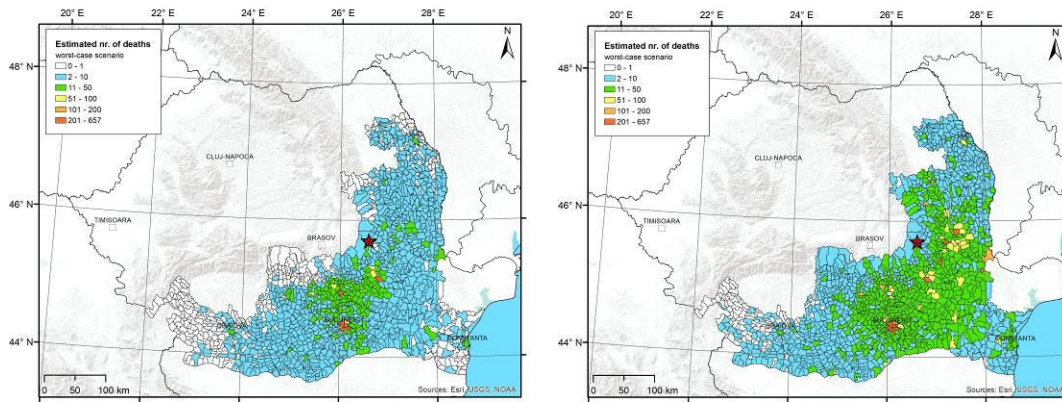


Fig. 6 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1802, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2002 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

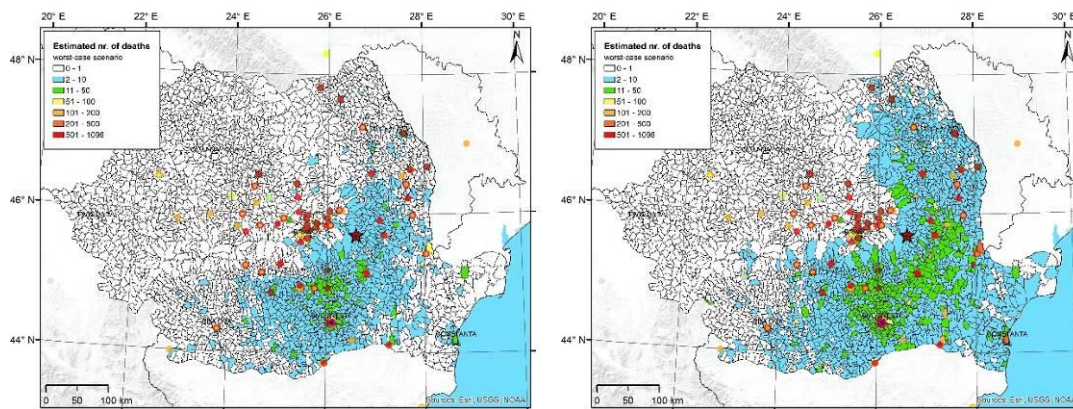


Fig. 7 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1802, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2011 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

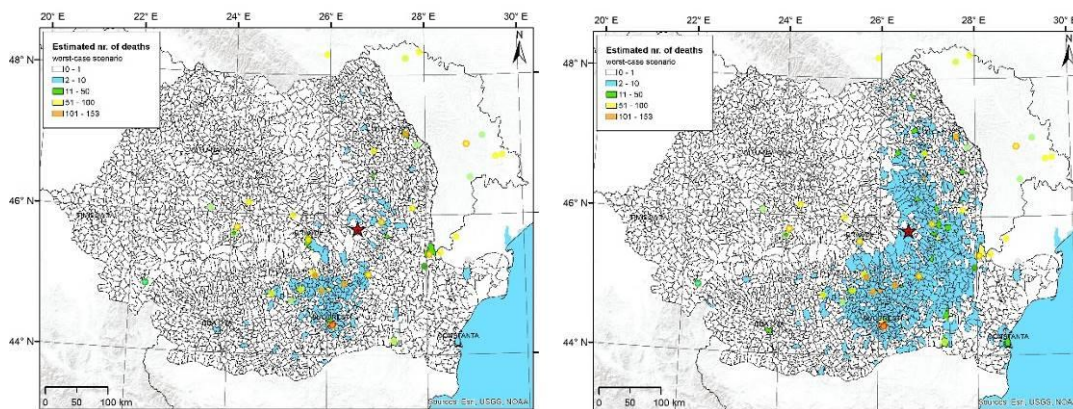


Fig. 8 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1829, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2011 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

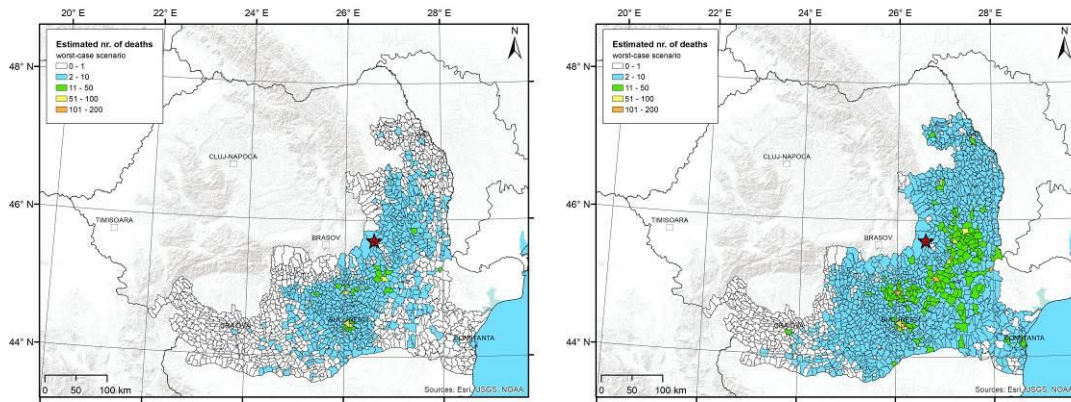


Fig. 9 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1838, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2002 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

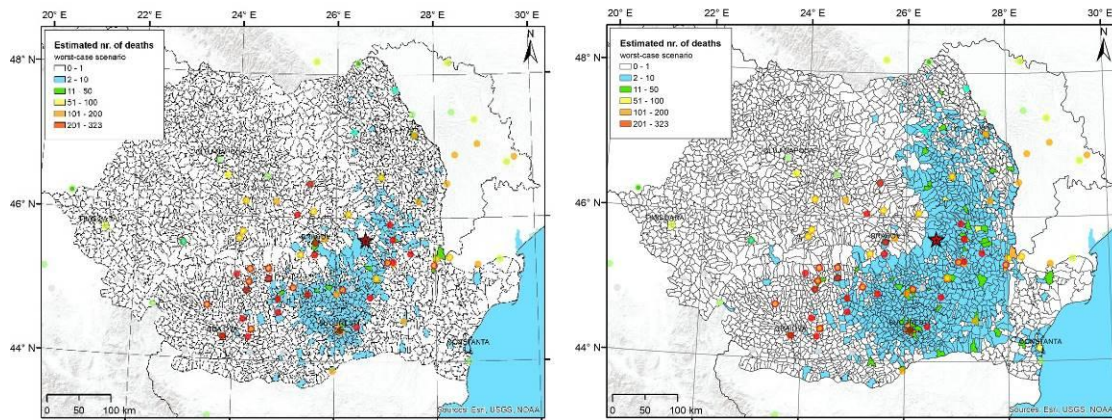


Fig. 10 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1838, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2011 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

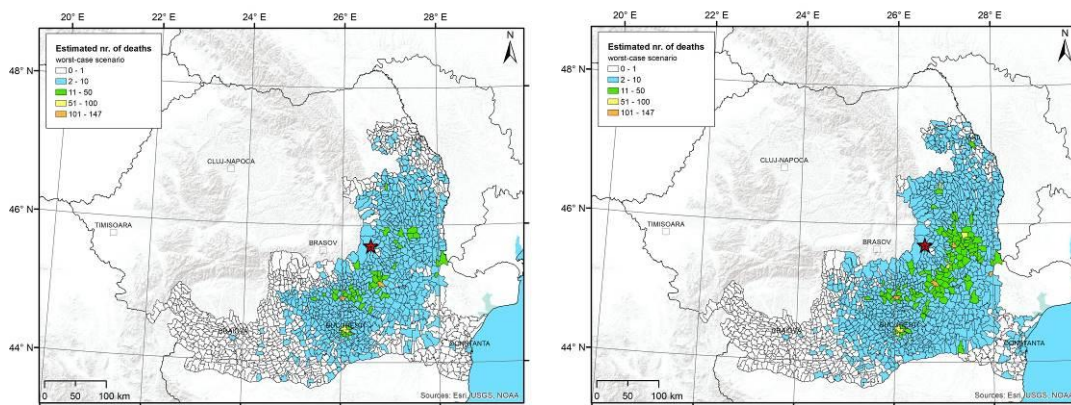


Fig. 11 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1893.08.17, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2002 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

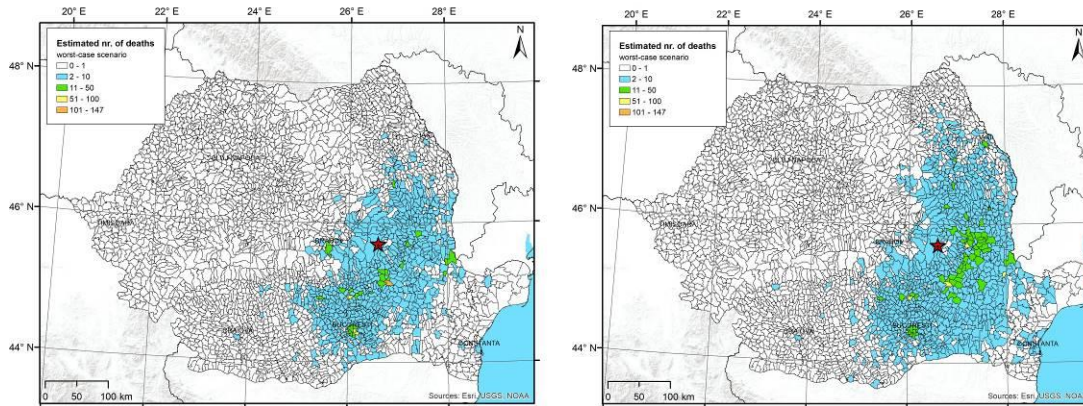


Fig. 12 Estimarea victimelor pentru un scenariu al cutremurului din 1893.08.17, obținut prin utilizarea metodei SeisDaRo cu baza de date 2011 și cu parametri de mișcare ai solului conform Sokolov GMPE (stanga) și Vacareanu (dreapta).

Bibliografie:

Atanasiu I, Cutremurele de pământ din România, Ed. Academiei Republicii Populare Române; 1961.

Bogazici University, Department of Earthquake Engineering (2010). ELER version 3.0 Manual. Available from:

http://www.koeri.boun.edu.tr/deprenmmuh/eski/ELER/ELER_v3_Manual.pdf.

Hepites, Șt., (1893), Registrul cutremurelor de pământ din România Anul 1893, Analele Academiei Române, Tom VII, Part, 2, Anul 1893. Analele Academiei Romane, Tom. IX, Part. II, anul 1893.

Hepites, Șt., (1894), Registrul cutremurelor de pământ din România Anul 1894, Analele Academiei Române, Tom XI, Part, II, Anul 1893.

Jaiswal K., Wald D.J., Hearne M. (2009) Estimating casualties for large earthquakes worldwide using an empirical approach. USGS Open-File Report 2009-1136.

Medvedev SV, Sponheuer W, Karnik V. (1964), Neue seismic Skala (Intensity scale of earthquakes), 7. Tagung der Europäischen Seismologischen Kommission vom 24.9. bis 0.9.1962 in Jena, Veroff. Insttite fur Bodedynamik und Erdbebenforschunh in Jena 77, 69-6.

Molina S, Lang DH, Lindholm CD (2010) SELENA—An open-source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure. Comput Geosci 36(3):257–269.

Oncescu, M. C., Mârza, V., Rizescu, M., Popa, M., (1999), The Romanian earthquake catalogue between 1984–1997. In: Wenzel F, Lungu D, Novak O (eds) Vrancea earthquakes: tectonics hazard and risk mitigation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 43–49.

Pamfile, T., (1936), Mitologia poporului Român ISBN 973-120-011-8 978-973-120-011-8

Réthly, A., A Kárpátmedencék földrengései (455-1918), Budapest, (in Hungarian), 1952. Raportul Domnului Dr. Gustav Schüller, asupra Cutremurului de pământ întâmplat în Țara Românească, în anul 1838, Bulletin de la Société géologique de Roumanie, 1882.

Sokolov Vladimir, Bonjer Klaus-Peter, Wenzel Friedemann, Grecu Bogdan, Radulian Mircea, Ground-motion prediction equations for the intermediate depth Vrancea (Romania) earthquakes; Bull Earthquake Eng (2008) 6:367–388 DOI 10.1007/s10518-008-9065-6.

Ștefănescu, G. (1901), Cutremurele de pământ în România în timp de 1391 de ani, de la anul 455 până la 1874, Extras din Analele Academiei Române, Seria II, vol. XXIV.

Toma-Danila D., Zulfikar C., Manea E.F., Cioflan C.O. (2015). Improved seismic risk estimation for Bucharest, based on multiple hazard scenarios and analytical methods; Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 73:1-16, doi: 10.1016/j.soildyn.2015.02.013.

Vacareanu R., Radulian M., Iancovici M. et al (2014) Fore-arc and back-arc ground motion prediction model for Vrancea intermediate depth seismic source. Proceedings of the 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey, 25-29 August 2014.

Wood, H.O., and F. Neumann, 1931. Modified Mercalli Intensity Scale of 1931. Bulletin of the Seismological Society of America, 21, 277-283.

<http://www.infp.ro/romplus/> - NIEP—National Institute for Earth Physics (2017) Romplus Earthquake Catalog.

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

Analizele din prezentul studiu au aratat că metoda SeisDaRo, datorita configurației și metodologiei sale, oferă în prezent cele mai bune rezultate. Această metoda poate fi aplicată în viitor în cazul producerii unor cutremure de magnitudini mari pe teritoriul României.

Diseminarea rezultatelor obținute în cadrul acestei faze a fost realizată prin participarea la 2 conferințe internaționale (două postere) și publicarea rezultatelor în cadrul unui proceeding indexat ISI.

1. Rogozea M., Ghita C., Radulian M., Rumiana G., Toma-Danila D.; Isoleismal maps of 26 November 1829, 1 May 1893, 17 August 1893 and 31 August 1894 Vrancea earthquakes, SGEM-2017, Albena, Bulgaria (proceeding).
2. Rogozea M., Ghita C., Radulian M., Rumiana G., Toma-Danila D.; Isoleismal maps of 26 November 1829, 1 May 1893, 17 August 1893 and 31 August 1894 Vrancea earthquakes, SGEM-2017, Albena, Bulgaria, (postăr).
3. Rogozea M., Toma-Dănilă D., Radulian M., Paulescu D., Intensity reevaluation and Loss estimation for the October 26, 1802, November 26, 1829 and January 23, 1838 Vrancea earthquakes; WMESS 2017 World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, Praga Cehia, (postăr).

Responsabil proiect,

Dr. CS. Rogozea Maria-Marilena

