

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 15: Îmbunătățirea hărților de tip ShakeMap la nivelul orașului București

Termen de încheiere a fazei: 20 august 2021

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 hărților 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) testarea diferitelor legi de predicție a parametrilor mișcării terenului (GMPE) și a relațiilor de conversie între accelerația de vârf a terenului și intensitate pentru zona municipiului București ii) hărți de tip ShakeMap generate pentru cutremurele de adâncime intermediară la nivelul orașului București.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- hărți de tip ShakeMap îmbunătățite la nivelul orașului București pentru cutremure de adâncime intermediară..

5. Rezumatul fazei:

Introducere

Bucureștiul este printre cele mai vulnerabile capitale din Europa la cutremurele de pământ. Deși este situat la o distanță epicentrală relativ mare (aproximativ 140 – 160 km) de zona Vrancea, Bucureștiul a suferit numeroase distrugeri și pierderi de vieți omenești în timpul cutremurelor vrâncene. Astfel, în secolul trecut, cutremurul din 10 Noiembrie 1940 ($M_w = 7.7$) a provocat prăbușirea hotelului Carlton situat în zona centrală a orașului omorând peste 250 de oameni, iar numeroase alte clădiri înalte au fost puternic afectate. Acesta a fost momentul când s-a tras pentru prima dată semnalul de alarmă privind introducerea reglementărilor antiseismice la proiectarea construcțiilor. Totuși, recomandările făcute după acest cutremur au fost în mare parte ignorate de către autorități, astfel că la următorul cutremur major din 4 Martie 1977 ($M_w = 7.4$) s-a înregistrat cel mai mare dezastru din istoria modernă a orașului. Seismul a provocat prăbușirea a 33 de clădiri înalte de 8-12 etaje, în timp ce aproximativ 150 de clădiri vechi cu 4-6 etaje au fost puternic avariate. Peste 1300 de persoane și-au pierdut viața și aproximativ 7500 au fost rănite în București în timpul cutremurului, iar costul total al distrugerilor s-a ridicat la aproape 2 miliarde de dolari dintre care două treimi numai în capitală (raport al Băncii Mondiale din 1978) (<https://mobee.infp.ro/despre-cutremurele-din-romania/cutremurul-din-4-martie-1977>).

Din punct de vedere geologic, orașul este situat în partea centrală a Platformei Moesice (de vârstă Precambriană și Paleozoică) și este acoperit de o pătura sedimentară groasă (aprox. 6 km), geologia de suprafață fiind reprezentată de depozitele cuaternare alcătuite din argile, nisipuri și pietrișuri slab consolidate precum și depozite loessoide. Grosimea totală a acestora variază între 160-200 m în partea de sud a orașului și 300-350 m în partea de nord. Pe baza informațiilor geologice,

geotehnice și hidrogeologice obținute din numeroasele foraje efectuate pe teritoriul Bucureștiului s-a realizat o clasificare a depozitelor cuaternare în 7 unități principale (Lungu et al., 1999; Mândrescu și Radulian, 1999; Mândrescu et al., 1999; Bălă et al., 2006, Bălă et al., 2008; Manea et al., 2016).

Răspunsul pachetului sedimentar de suprafață joacă un rol secundar în mișcarea terenului în zona orașului București. Acesta devine deosebit de important în momentul în care spectrul radiației seismice emisă de sursă coincide cu cel al răspunsului local, caz în care efectele undelor seismice în București devin dramatice (cazul cutremurului din 4 martie 1977) (Grecu, 2009).

Progresul continuu în reducerea impactului negativ al cutremurelor asupra societății este condiționat de existența datelor de observație în cantități cât mai mari și, totodată, de calitate cât mai bună.

Baza de date seismice pentru zona Bucureștiului a crescut semnificativ după cutremurul din 1977 în urma instalării mai multor rețele seismice temporare (rețeaua K2 - Bonjer și Rizescu, 2000; Bonjer et al., 2002), rețeaua URS (Ritter et al., 2005; Bălan et al., 2007), dar în special ca urmare a dezvoltării rețelei seismice în timp real a Institutului Național de CD pentru Fizica Pământului (INFP) în aria metropolitană a Bucureștiului (Mărmureanu et al., 2021) (Figura 1).

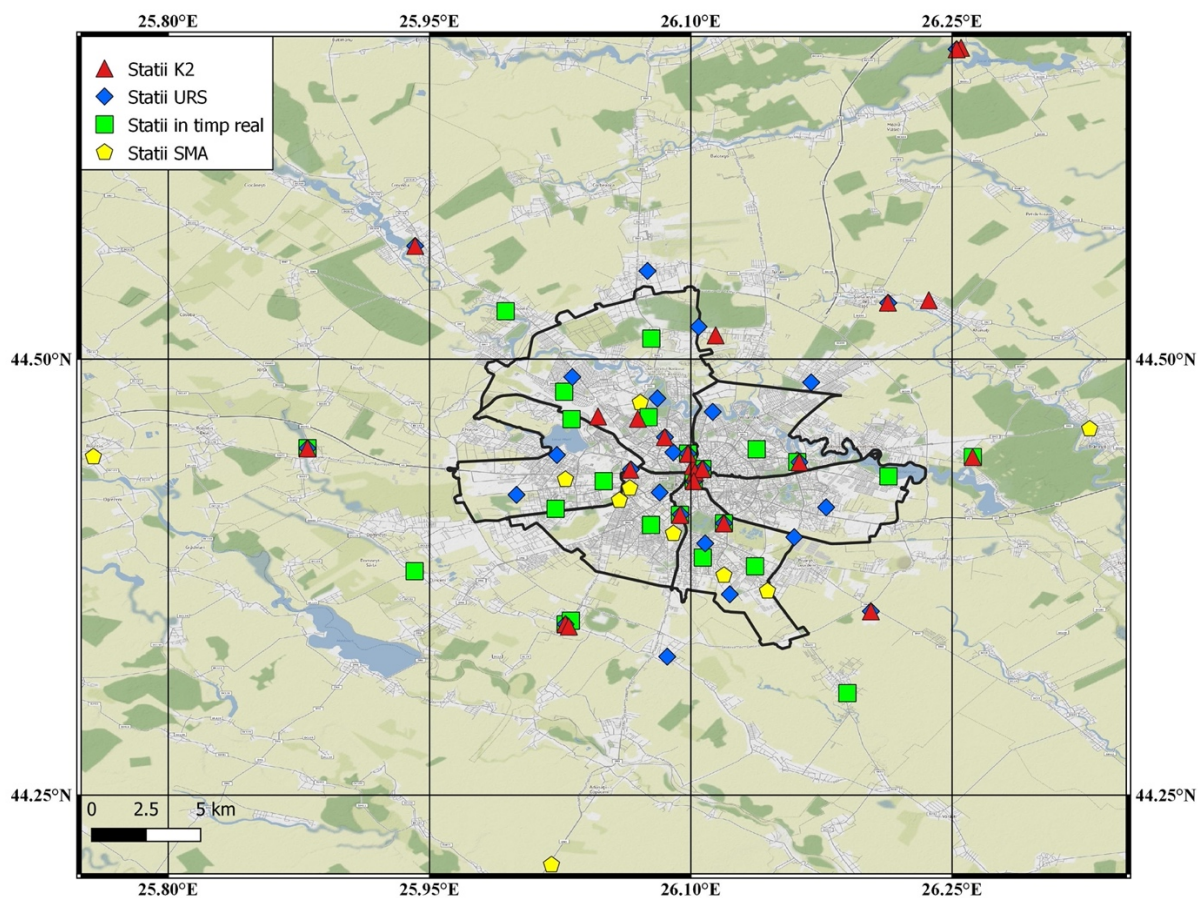


Figura 1 Distribuția rețelor seismice în zona Bucureștiului

Date utilizate

Au fost analizate 14 cutremure vrâncene de adâncime intermediară, dintre care 3 evenimente puternice (4 martie 1977, 30 august 1986 și 30 mai 1990) și 11 moderate cu magnitudine între 5.0 și 6.4. Au fost selectate numai cutremure cu magnitudinea $M_w \geq 5.0$ deoarece cele mai multe ecuații de predicție a mișcării terenului (GMPE) sunt dezvoltate pentru cutremure cu magnitudini mai mari de 5. Parametrii evenimentelor studiate sunt dați în Tabelul 1. Formele de undă provenite de la cutremurele din 1977, 1986 și 1990 au fost înregistrate de către rețeaua de accelerometre analogice SMA-1 a INCERC, și au intrat în baza de date comună INCERC - INCDFP realizată în cadrul proiectului PNCDI – MENER 2002 – “Baza de date seismice din România”. Înregistrările cutremurelor moderate au provenit de la rețeaua K2 instalată în București între anii 1996-si 2004, precum și de la stațiile seismice în timp real a INFP. Distribuția stațiilor este prezentată în Figura 1. Datele de la stațiile URS au fost utilizate la determinarea frecvențelor fundamentale de rezonanță (Grecu, 2009; Manea et al., 2020) necesare în calculul parametrilor mișcării terenului (PGA, SA) utilizând relațiile dezvoltate de Manea et al., 2021. Parametrii (PGA, SA) folosiți la testarea diferitelor GMPE-uri au fost obținuți în faza 1 a proiectului

Tabel 1. Parametrii cutremurelor analizate

Data	Ora la origine	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Adancime (km)	Magnitudine (Mw)
04.03.1977	19:21:54	45,77	26,76	94	7,4
30.08.1986	21:28:37	45,52	26,49	131,4	7,1
30.05.1990	10:40:06	45,83	26,89	90,9	6,9
31.05.1990	0:17:48	45,85	26,91	86,9	6,4
28.04.1999	8:47:56	45,49	26,27	151,1	5,3
06.04.2000	0:10:39	45,75	26,64	143,4	5
27.10.2004	20:34:36	45,84	26,63	105,4	6
14.05.2005	1:53:21	45,64	26,53	148,5	5,5
18.06.2005	15:16:42	45,72	26,66	153,7	5,2
25.04.2009	17:18:48	45,68	26,62	109,6	5,4
06.10.2013	1:37:21	45,67	26,58	135,1	5,2
23.09.2016	23:11:20	45,7148	26,6181	92	5,5
27.12.2016	23:20:56	45,7139	26,5987	96,9	5,6
28.10.2018	0:38:11	45,6079	26,4068	147,8	5,5

Testare GMPE-uri

Au fost selectate și testate mai multe GMPE-uri dezvoltate pentru cutremurele vrâncene de adâncime intermediară:

- Sokolov08 (Sokolov et al., 2008) – dezvoltată pentru PGA, PGV, PSA și MSK pentru diferite regiuni ale țării (Bucureștiul, conform Fig2 din Sokolov et al., 2008, se află în regiunea 6-Souh). S-au folosit cele două variante Sokolov08AM-media și Sokolov08AM1-media + deviația standard;

- Vacareanu15a (Vacareanu et al., 2015a) – dezvoltată pentru PGA și PSA pentru amplasamente din fața și din spatele Arcului Carpat (AC), stațiile din București fiind situate în fața AC;
- Manea21 (Manea et al., 2021) – dezvoltată atât pentru PGA cât și pentru PGV și PSA. Relațiile țin cont atât de poziția stațiilor față de AC (în fața, de-a lungul și în spatele AC) cât și de caracteristicile locale de la stații (ex. frecvența fundamentală de rezonanță);
- Vacareanu15b (Vacareanu et al., 2015b) – o ecuație de predicție a intensității macroseismice dezvoltată pentru cutremure vrâncene intermediare și pentru amplasamente din fața și spatele AC;
- Constantin21 (Constantin et al., 2021) – relații între intensitatea macroseismică și parametrii mișcării terenului (PGA, PGV) dezvoltată pentru cutremure vrâncene intermediare.

Pentru fiecare GMPE testată s-au calculat diferențele între valorile (PGA și SA) înregistrate la stațiile seismice și cele calculate pe baza GMPE-urilor. În Figura 2 sunt prezentate diferențele între valorile de PGA și PSA înregistrate la stațiile seismice și cele calculate folosind GMPE- ul pentru cutremure vrâncene de adâncime intermediară.

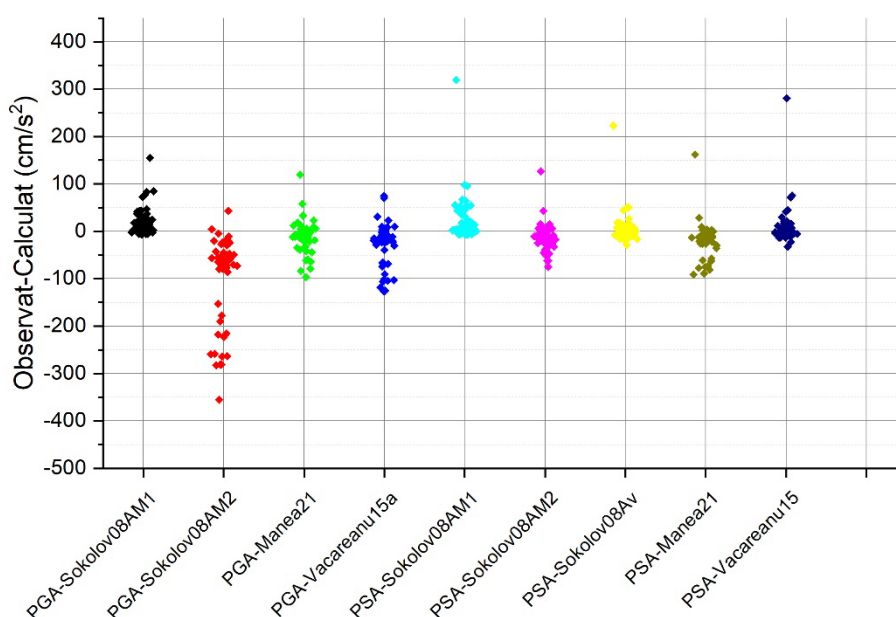
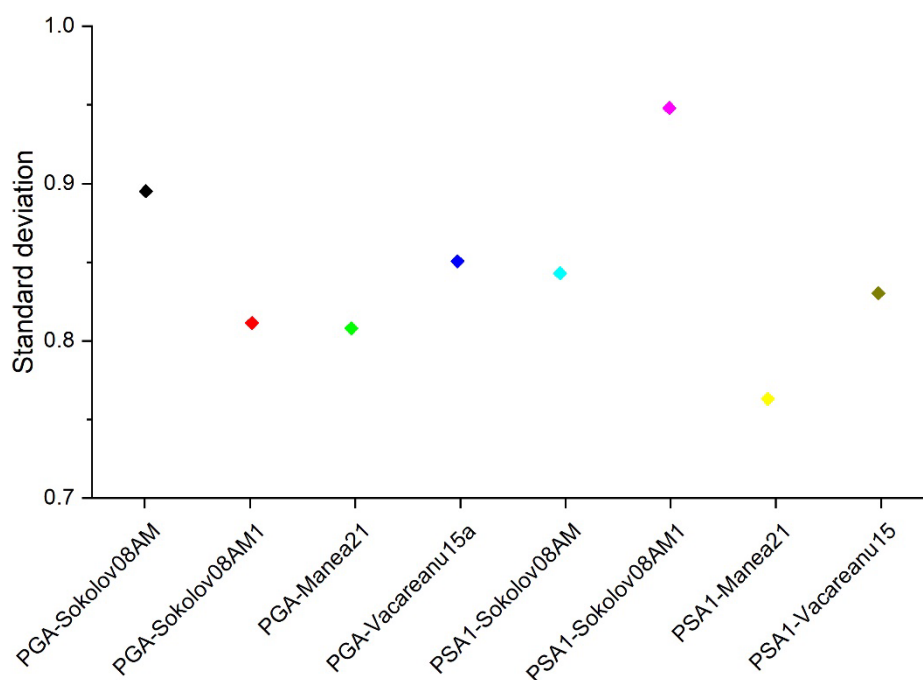


Figura 2 Diferențele între valorile de PGA, PSA observate la stațiile seismice și cele calculate folosind GMPE-urile considerate. Valorile de PSA sunt date pentru perioada de 1 s.

Pentru tot setul de date și toate combinațiile de GMPE-uri folosite s-au calculat deviațiile standard ale diferențelor dintre valorile observate și cele calculate pentru fiecare parametru al mișcării terenului (PGA, PSA1.0, etc.). Diferențele au fost calculate după ce în prealabil s-a aplicat logaritmul natural valorilor observate și modelate. În Figura 3 sunt prezentate rezultatele obținute pentru GMPE-uri utilizate pentru calcularea valorilor de PGA și PSA la perioada 1s. Se observă că în cazul cutremurelor vrâncene de adâncime intermediară, deviațiile standard cele mai mici se obțin atunci când se folosește pentru estimarea parametrilor mișcării terenului relația dezvoltată de Manea21 atât pentru PGA cât și pentru PSA la 1s.



S-a făcut și o analiză comparativă între valorile intensității macroseismice obținute din accelerațiile înregistrate folosind diferitele relații de conversie între PGA și intensitatea macroseismică (Figura 4).

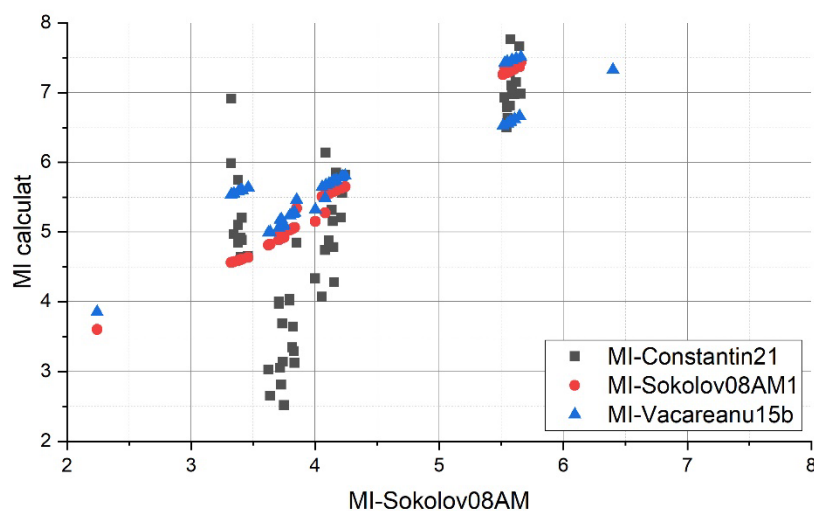


Figura 4 Comparație între valorile de intensitate macroseismică obținute din accelerațiile înregistrate la stații aplicând relațiile de conversie între PGA și intensitate

În final, au fost făcute scenarii de ShakeMap la nivelul orașului București folosind relațiile de predicție a mișcării terenului analizate mai sus. În Figura 5 sunt date ca exemplu harta cu distribuția accelerației terenului obținută pentru cutremurul din 27 Octombrie 2004 de $M_w = 6.0$ folosind relația Vacareanu15a precum și harta cu distribuția intensității macroseismice obținută folosind relația de conversie intra PGA și intensitate dezvoltată de Constantin et al, 2021.

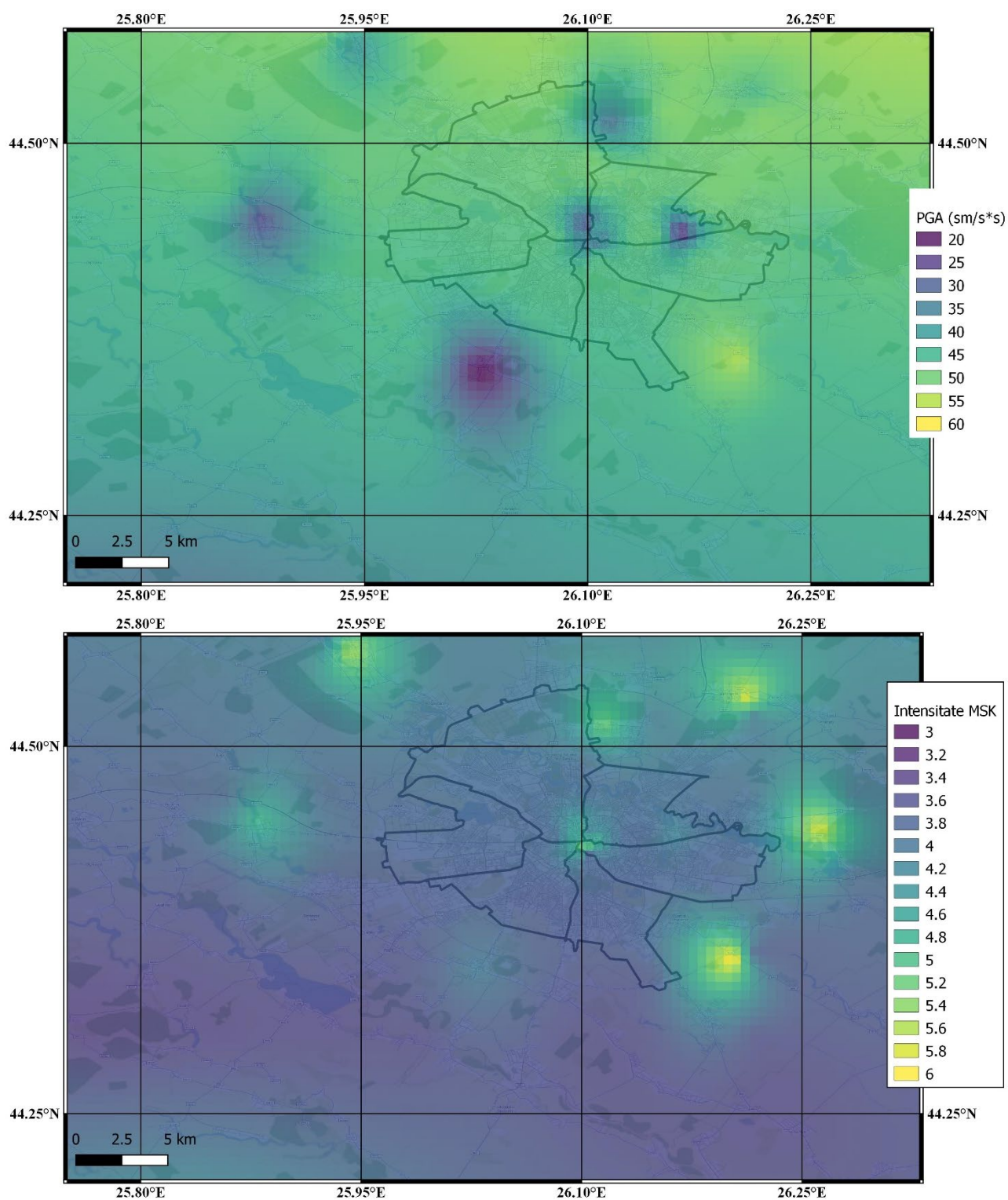


Figure 5 Harta cu distribuția accelerației terenului (sus) și a intensității macroseismice (jos) obținute pentru cutremurul din 27 Octombrie 2004 de $M_w = 6.0$ folosind relația Vacareanu15a, respectiv Constantin21.

Bibliografie

- Bălan, S. F., Bartlakowski, J., Diehl, T., Forbriger, T., Groos, J., Jaskolla, B., ... & Ziehm, J. (2007). Results from the urban seismology (URS) project in Bucharest, Romania. In *Proceedings of the International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*, Bucharest (pp. 277-283).
- Bălă, A., V. Răileanu, I. Zihan, V. Ciugudean, B. Grecu, 2006. Physical and dynamic properties of the shallow sedimentary rocks in the Bucharest metropolitan area, *Romanian Reports in Physics*, 58, 2, 221-250.
- Bălă, A., B. Grecu, V. Ciugudean V. Răileanu, 2008. Dynamic properties of the Quaternary sedimentary rocks and their influence on seismic site effects. Case study in Bucharest city, Romania, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, acceptată spre publicare, doi:10.106/j.soildyn.2008.01.002.
- Constantin, A., Moldovan, I., Partheniu, R., Grecu, B., & Ionescu, C. (2021). Correlations between macroseismic intensity values and ground motion measures of Vrancea (Romania) subcrustal earthquakes, *Romanian Journal of Physics*, 66, 808.
- Grecu, B., 2009. Estimarea efectelor locale și influența lor asupra hazardului seismic. Aplicații pentru România, Teză de doctorat.
- Lungu, D., A. Aldea, T. Moldoveanu, V. Ciugudean, M. Stefanica, 1999. Near-surface geology and dynamic properties of soil layers in Bucharest, *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard, and Risk Mitigation*, Editors: Wenzel, F., Lungu, D., Kluwer Academic Publishers, 137-148.
- Mărmureanu, A., Ionescu, C., Grecu, B., Toma-Danila, D., Tigănescu, A., Neagoe, C., ... & Ilieș, I. (2021). From National to Transnational Seismic Monitoring Products and Services in the Republic of Bulgaria, Republic of Moldova, Romania, and Ukraine. *Seismological Society of America*, 92(3), 1685-1703.
- Mândrescu, N. și M. Radulian, 1999. Macroseismic field of the Romanian intermediate-depth earthquakes, in „*Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*” (eds. F. Wenzel, D. Lungu, O. Novak), Kluwer Academic Publishers, 163-174.
- Mândrescu, N. și M. Radulian, 1999. Seismic microzoning of Bucharest (Romania): A critical review”, *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard, and Risk Mitigation*, Editors: Wenzel, F., Lungu, D., Kluwer Academic Publishers, 109-122.
- Manea, E.F., M. Clotaire, V. Poggi, D. Fäh, M. Radulian, F.S. Balan, Improving the shear wave velocity structure beneath Bucharest (Romania) using ambient vibrations, *Geophysical Journal International*, Volume 207, Issue 2, November 2016, Pages 848–861, <https://doi.org/10.1093/gji/ggw306>
- Manea, E. F., Cioflan, C. O., Coman, A., Michel, C., Poggi, V., & Fäh, D. (2020). Estimating geophysical bedrock depth using single station analysis and geophysical data in the extra-Carpathian area of Romania. *Pure and Applied Geophysics*, 177(10), 4829-4844.
- Manea, E. F., Cioflan, C. O., & Danciu, L. (2021). Ground-motion models for Vrancea intermediate-depth earthquakes. *Earthquake Spectra*, 87552930211032985.

Vacareanu, R., Radulian, M., Iancovici, M., Pavel, F., & Neagu, C. (2015a). Fore-arc and back-arc ground motion prediction model for Vrancea intermediate depth seismic source. Journal of Earthquake Engineering, 19(3), 535-562.

Văcăreanu, Radu, Mihail Iancovici, Cristian Neagu, and Florin Pavel. "Macroseismic intensity prediction equations for Vrancea intermediate-depth seismic source." Natural Hazards 79, no. 3 (2015b): 2005-2031.

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

Rezultatele obținute în cadrul fazei sunt:

- i) hărți de tip ShakeMap pentru cutremure de adâncime intermediară la nivelul orașului București

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

Indicatori:

Date utilizate pentru obținerea rezultatelor din această fază au fost la publicarea articolelor:

Mărmureanu, A., Ionescu, C., Grecu, B., Toma-Danila, D., Tiganescu, A., Neagoe, C., ... & Ilieș, I. (2021). From National to Transnational Seismic Monitoring Products and Services in the Republic of Bulgaria, Republic of Moldova, Romania, and Ukraine. Seismological Society of America, 92(3), 1685-1703.

Grecu, F. Borleanu, A. Tiganescu, N. Poiata, R. Dinescu and D. Tataru, The effect of 2020 COVID-19 lockdown measures on seismic noise recorded in Romania, acceptată spre publicare (comentarii minore) la Solid Earth.

De asemenea, date utilizate pentru obținerea rezultatelor din această fază vor fi folosite într-o prezentare la conferința:

Al XI lea Congres al Societății Balcanice de Geofizică

- 1. Seismic noise model for Romania revisited**, autori A. Tolea, B. Grecu, C. Neagoe.

Responsabil proiect

Dr. Alexandru Mărmureanu

Responsabil fază

Dr. Bogdan Grecu