

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. Ing. Constantin Ionescu

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Prof. Dr. Ing. Gheorghe Marmureanu

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr: 21N/2016

Proiectul: Îmbunătățirea sistemului rapid de estimare a pagubelor generate de cutremure în România prin o mai bună considerare a particularităților hazardului și vulnerabilității locale (PN 16 35 02 03)

Faza: 1. Considerarea particularităților hazardului seismic local în cadrul metodologiilor de estimare a riscului seismic

Termen: 15.07.2016

1. Obiectivele proiectului

Proiectul are următoarele **obiective generale**:

- să evalueze particularitățile hazardului și vulnerabilității seismice din România, punând accentul pe posibilitatea de integrare a rezultatelor în studii de analiză a riscului;
- să faciliteze estimarea mai credibilă a pagubelor seismice, prin îmbunătățirea datelor de intrare și a metodelor utilizate în cadrul Sistemului rapid de estimare a pagubelor generate de cutremure în România (SeisDaRo).

Obiectivele specifice sunt:

- Cercetarea posibilităților de considerare a specificațiilor și recomandărilor codului de proiectare P100/2013 în cadrul metodologiilor de evaluare a riscului recunoscute la nivel mondial;

- Analiza hazardului seismic local (considerând particularități ale cutremurelor majore Vrancea sau crustale și legi de atenuare specifice) din perspectiva cerințelor analizelor de risc;
- Îmbunătățirea bazei de date referitoare la vulnerabilitate și a modelelor utilizate în estimarea pagubelor;
- Integrarea noilor metodologii și date obținute în cadrul Sistemului rapid de estimare a pagubelor generate de cutremure în România (SeisDaRo), utilizând datele Rețelei Seismice Naționale;
- Cercetări asupra scenariilor de tip multi-risc, considerând pe lângă efectele directe asupra structurilor și efectele seismice indirecte, provenind din disfuncționalități la nivelul rețelelor de transport, implicații ale ruperii barajelor, declanșării alunecărilor de teren sau valurilor de tip tsunami în Marea Neagră.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivelor

Pentru atingerea obiectivelor proiectului avem în vedere obținerea următoarelor rezultate:

- Determinarea unei metode îmbunătățite și flexibile de calcul a hazardului specific sursei seismice intermediare Vrancea și a surselor crustale din România, considerând atât date reale înregistrate la stațiile Rețelei Seismice Naționale cât și legi de atenuare adecvate;
- Integrarea acestei metode în cadrul unui soft de tip ShakeMap, care să furnizeze automat date de intrare pentru SeisDaRo;
- Dezvoltarea bazei de date SeisDaRo referitoare la elemente vulnerabile, pe baza datelor statistice sau din alte surse;
- Determinarea sau asocierea curbelor de vulnerabilitate optime pentru clădiri și alte elemente (poduri, tuneluri) de pe teritoriul României;
- Definirea unor modele de exprimare a riscului socio-economic, adaptate la caracteristicile naționale;
- Integrarea noilor datelor și modele de vulnerabilitate în SeisDaRo;
- Elaborarea unei baze de date GIS constituită din date de hazard, date statistice pentru elemente vulnerabile și rezultate ale analizei de risc, care să respecte structura de metadate specificată pentru tematica "Zone cu riscuri naturale" din cadrul Directivei Inspire;

3. Obiectivul fazei

- Evaluarea particularităților hazardului seismic din România, punând accentul pe posibilitatea de integrare a rezultatelor în studii de analiză a riscului;

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei

- Determinarea unei metode îmbunătățite și flexibile de calcul a hazardului specific sursei seismice intermediare Vrancea și a surselor crustale din România, considerând

atât date reale înregistrate la stațiile Rețelei Seismice Naționale cât și legi de atenuare adecvate;

- Integrarea acestei metode în cadrul unui soft de tip ShakeMap, care să furnizeze automat date de intrare pentru SeisDaRo;

5. Rezumatul fazei

Înainte de a prezenta ce rezultate au fost obținute pentru îmbunătățirea Sistemului rapid de estimare a pagubelor generate de cutremure în România (SeisDaRo), găsim necesară prezentarea pe scurt a stării actuale a acestui sistem, pentru evidențierea prin comparație a noutăților aduse.

Începând cu 2011, în cadrul Institutului Național pentru Fizica Pământului a fost implementat un sistem automat care calculează rapid, la 5-10 minute după producerea unui cutremur cu magnitudine ≥ 4 pe teritoriul României, estimări ale producerii pagubelor seismice asupra clădirilor rezidențiale și locuitorilor din acestea, și asupra unor clădiri importante (primării, școli, spitale etc.). Sistemul a fost implementat inițial doar pentru județele din sudul țării, în cadrul Proiectului DACEA, cu ajutorul Institutului Norsar și a Universității Tehnice de Construcții din București (UTCB). Ulterior au fost adăugate date de vulnerabilitate la nivelul anului 1999, care permit în prezent estimarea pagubelor în 20 de județe din sudul și estul țării + Municipiul București, la nivel de unitate administrativ-teritorială (UAT – comună, oraș sau sector).

Pentru estimarea pagubelor asupra clădirilor se folosește metoda analitică Improved Displacement Coefficient Method (IDCM), a cărei schemă se găsește în figura 1; pentru utilizarea acesteia, vulnerabilitatea clădirilor (deosebite în funcție de material de construcție, înălțime și vârstă) este definită cu ajutorul a 48 de curbe de vulnerabilitate găsite a fi adecvate pentru tipologiile principale structurale din România. Asocierea curbilor de vulnerabilitate a fost realizată de UTCB și Norsar, utilizându-se curbe de vulnerabilitate din literatură (FEMA, Cattari et al 2004) dar și curbe de capacitate calculate de UTCB, pentru blocuri din beton armat.

Figura 2 prezintă modul de implementare și funcționare a SeisDaRo. Principala componentă în estimarea pagubelor este reprezentată de softul open-source SELINA (SEismic Loss EstimatioN using a logic tree Approach), dezvoltat de către Institutul Norsar. Acest soft preia date de intrare referitoare la hazard (prin intermediul softului ShakeMap din cadrul Rețelei Seismice Naționale) și vulnerabilitate (baza de date la nivelul anului 1999 pentru clădiri și locuitori), aplică metoda IDCM și spectrul de design IBC2006 și calculează în final numărul de clădiri potențial afectate și locuitorii afectați (pe tipuri de severitate a rănilor, în funcție de o metodă empirică bazată pe rate de cazualitate).

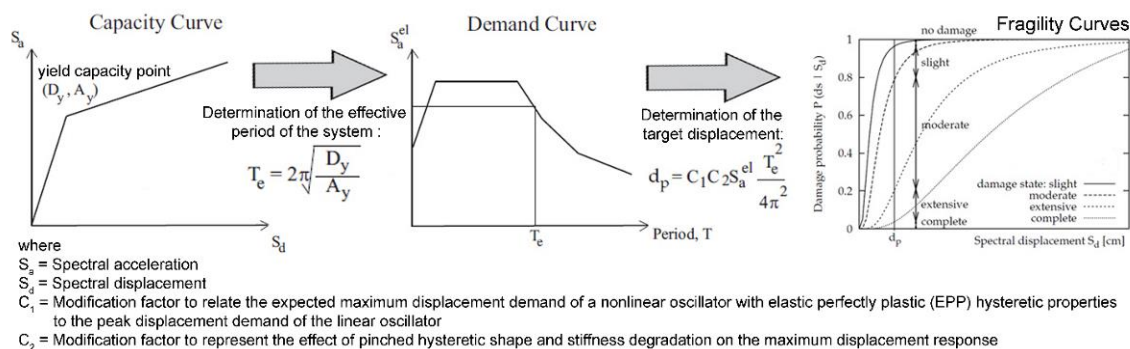


Fig. 1 Schema procedurii de obținere a probabilităților de avariere a clădirilor cu ajutorul metodei IDCM (modificat după Molina et al. 2010)

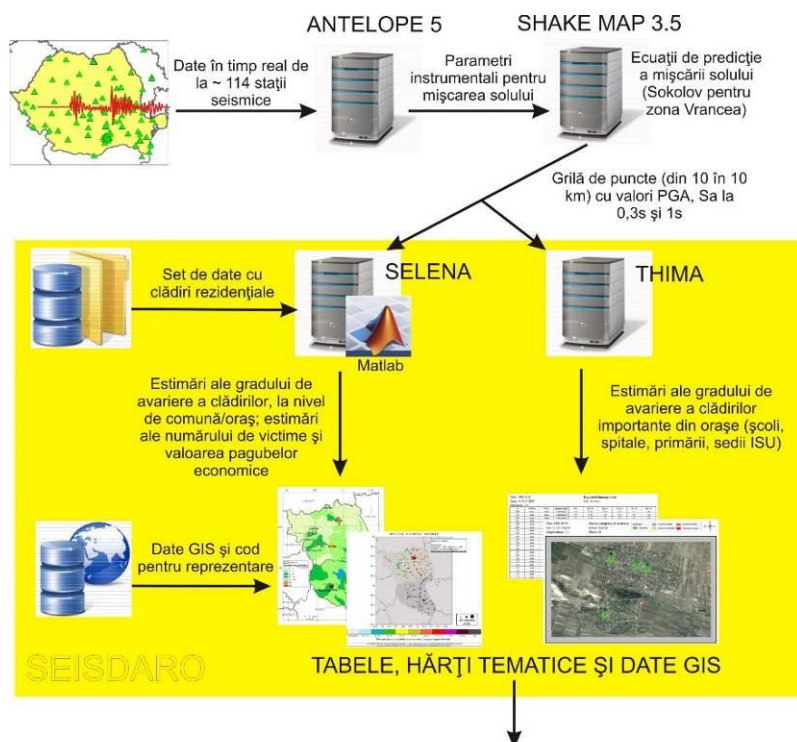


Fig. 2 Schema de funcționare a Sistemului rapid de estimare a pagubelor generate de cutremure în România (SeisDaRo)

Așa cum enumerăm mai jos și am relatat în diferite studii (Toma-Danila et al 2015, Manea et al. 2014), SeisDaRo este în prezent un sistem foarte util, dar cu destule deficiențe, precum:

- Probleme legate de folosirea datelor de hazard (valori de accelerație și accelerație spectrală) obținute cu ajutorul sistemului ShakeMap, implementat în cadrul INFP; acest sistem folosește pentru Sursa Seismică Vrancea GMPE-ul recomandat Sokolov et al 2008 (doar forma medie, nu și cea cu o deviație standard considerată a fi o estimare bună la limita superioară a valorilor posibile), însă are probleme în ceea ce privește calculul valorilor de accelerație spectrală, timpul de rulare (5 minute), flexibilitatea în ceea ce privește modificările sau utilizarea unui GMPE optim pentru

cutremure crustale din România; nu păstrează foarte bine valorile înregistrate real. De asemenea, ShakeMap-ul nu oferă în prezent valori de accelerație spectrală pentru alte perioade decât 0.3 și 1 secundă.

- Dificultăți în considerarea particularităților cutremurelor de adâncime intermediară (perioade dincolo de 1 secundă) și a factorilor de amplificare locală în zone sedimentare, cu efecte nonliniare și diferențe mari în amplificare, insuficient descrise prin valori Vs30.
- Utilizarea unei baze de date pentru clădiri și locuitori din 1999 – destul de veche pentru 2016.
- Utilizarea unor curbe de vulnerabilitate nu foarte specifice pentru clădirile din România, care duc aparent la rezultate supraestimate.
- Lipsa estimărilor privitoare la pagube economice (lipsa valorilor de reconstrucție pentru clădiri).

Prin această fază a proiectului am căutat să îmbunătățim calitatea datelor de hazard utilizate în estimările SeisDaRo, încercând să punem accent pe datele Rețelei Seismice Naționale (dând o importanță cât mai mare înregistrărilor reale) și pe utilizarea mai multor ecuații de predicție a mișcării solului (GMPE), selectate printr-o nouă metodologie pe baza direcției azimutale față de epicentru. Metodologia creată a fost implementată în Matlab, fiind considerabil mai rapidă față de sistemul ShakeMap, mult mai configurabilă și mai aproape de realitate.

În România, principala sursă seismică este Vrancea, unde se produc cutremure de adâncime intermediară (de obicei în intervalul de adâncime 90-150 km) cu magnitudini mai mari de 7. Aceste cutremure au potențialul de a genera pagube importante la distanțe epicentrale mari (chiar și peste 300 km). Problematic pentru estimările pagubelor produse de cutremure Vranceane este faptul că, neavând suficiente

înregistrări reale și fiind cutremure de adâncime

mare, nu există legi de atenuare suficient de bune pentru estimarea corectă a hazardului; acest aspect reiese ușor din calculul erorilor (deviația standard) GMPE-urilor, la magnitudini mai mari de 6, și din faptul că foarte puține legi specifice (din care conform lui Douglas et al. 2011 doar Sokolov GMPE trece criteriile de eligibilitate) au fost elaborate (cele pentru cutremure crustale nefiind aplicabile). Pentru sursa Vrancea s-a

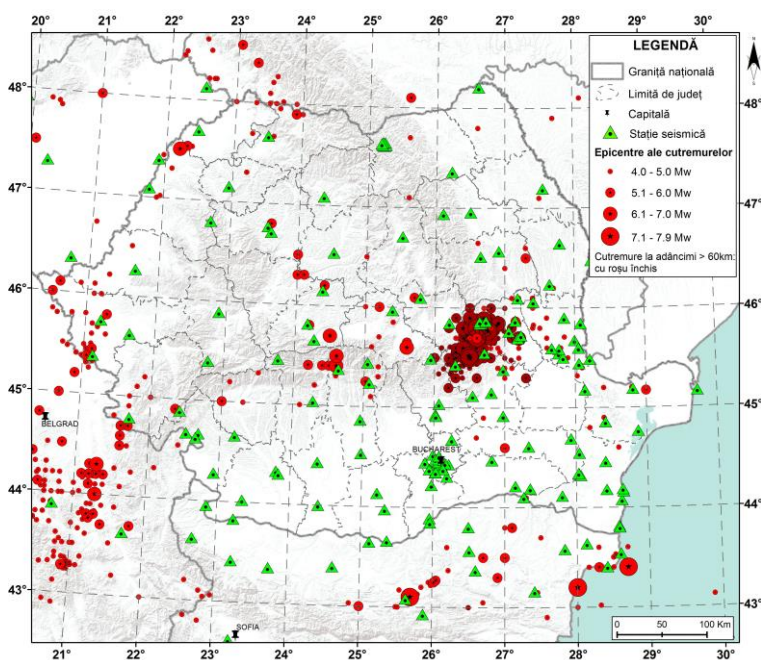


Fig. 3 Harta stațiilor seismice în timp real din cadrul Rețelei Seismice Naționale și cutremurele cu magnitudine-moment ≥ 4

demonstrat că este importantă și considerarea directivității (valori mai mari pe direcția SV-NE) care s-a evidențiat la toate evenimentele majore (atât în ce privește accelerația cât și intensitatea). După cum e evidențiat prin figura 3, gradul actual de acoperire cu stații seismice cu transmisiune în timp real este foarte bun, și pentru Sursa Vrancea sunt acoperite bine toate direcțiile azimutale; este important ca noua metodologie să scoată în evidență mai bine înregistrările reale, dar și să poată exclude valorile cu abatere mare (eronate datorită unor factori ce țin de rețea și parametri considerați) din calcul.

Pentru a încerca îmbunătățirea unor date de hazard destul de incerte (în cazul cutremurelor și scenariilor cu magnitudine mare), au fost studiate publicațiile din literatură și metodologiile ce stau la baza ShakeMap, precum și legile de atenuare pentru sursa Vrancea, și a fost propusă o nouă metodologie (figura 3), cu câteva atuuri precum:

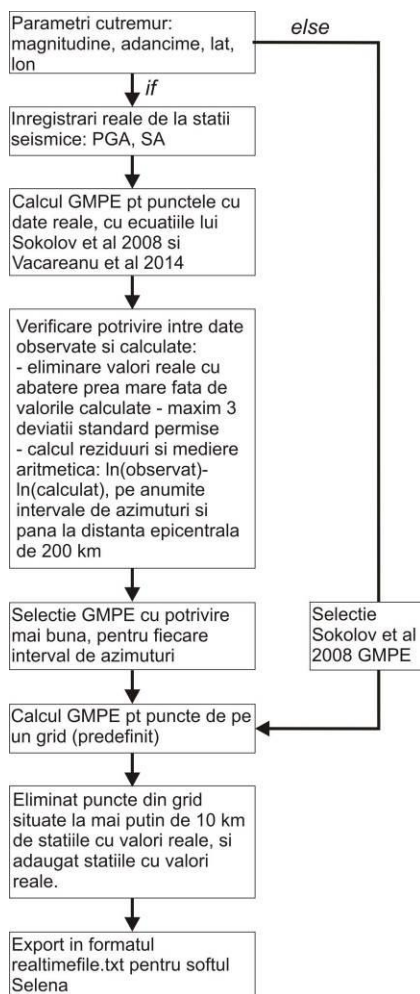


Fig. 4 Metodologia propusă pentru îmbunătățirea considerării hazardului din sursa seismică Vrancea în cadrul SeisDaRo

- integrarea și utilizarea mai multor legi de atenuare în același timp
- selecția lor în funcție de cea mai bună potrivire cu valorile înregistrate real, în funcție de anumite intervale azimutale
- posibilitatea de calcul a valorilor de accelerație spectrală la mai multe perioade
- timp redus de calcul (față de ShakeMap) și flexibilitate

După cum se observă în figura 3, dacă sunt disponibile date înregistrate real (obținute cu ajutorul stațiilor Rețelei Seismice Naționale de exemplu), se calculează în punctele respective valori cu ajutorul a două GMPE-uri reprezentative pentru sursa Vrancea: Sokolov et al. 2008 și Vacareanu et al. 2014 (se poate adăuga și o altă GMPE), se compară pe intervale azimutale diferite și se selectează GMPE-ul care oferă cea mai bună estimare. Apoi, pentru un grid predefinit (sau chiar puncte de calcul conform estimărilor de risc – centrul unui oraș de exemplu), eliminând punctele apropiate de înregistrările reale, se utilizează GMPE-ul selectat. Se poate aplica în acest calcul și un factor de bias, care să aducă valoarea GMPE și mai aproape de valorile înregistrate. Referitor la factorii de amplificare, atât valorile înregistrate cât și cele ale GMPE-urilor sunt corespunzătoare la suprafață, nefiind necesară conversia valorilor la nivelul rocii de bază; dacă Sokolov GMPE folosește o clasificare bazată pe 8 regiuni cu amplificare anume, Vacareanu GMPE folosește valori Vs30; pentru România am implementat în Matlab o metodă automată de obținere a valorilor Vs30 prezente pe un grid oferit de softul ELER, utilă și în cazul implementării altor GMPE-uri care necesită acest parametru.

În cazul în care nu există înregistrări reale (deloc sau pe un anumit interval azimutal), se utilizează din oficiu Sokolov GMPE; când vor exista suficiente înregistrări reale pentru cutremure medii și mari, vom putea calcula media utilizării unui anumit GMPE pe o direcție azimutală, adoptând cea mai bună soluție în mod prestabilit.

Timpul de calcul, cu ajutorul softului Matlab pe un calculator cu 8 GB Ram și procesor dual core de 2.5 Ghz, pentru 30 de înregistrări reale și un grid de 777 de puncte, este de 14 secunde.

Pentru hărțile din figura 4, valorile din punctele finale ale gridului (conținând și înregistrările reale) au fost interpolate cu ajutorul metodei IDW, care păstrează nealterate valorile în punctul de calcul.

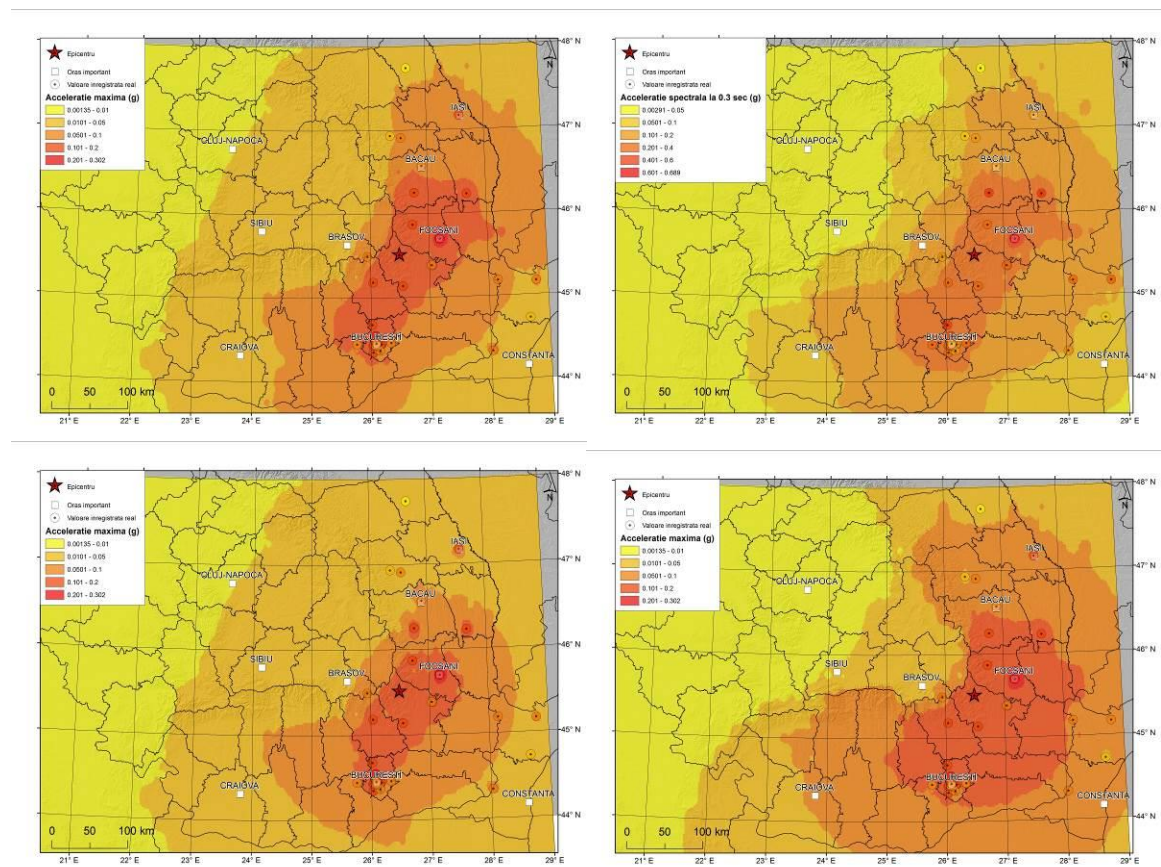


Fig. 5 Rezultate obținute cu noua metodologie de tip ShakeMap, pentru un scenariu al cutremurului din 30 august 1986, cu Mw 7.1 și adâncimea de 131 km. Sus – combinație între Sokolov și Văcăreanu GMPE, pentru PGA și Sa la 0.3 secunde; jos – rezultate pentru PGA obținute doar cu Sokolov GMPE (stânga) și Văcăreanu GMPE (dreapta)

Pentru a compara mai bine metodologia clasică ShakeMap cu cea propusă și implementată, se poate analiza figura 6. Pentru cutremurul din 30 mai 1990 au fost, ca și pentru cutremurul din 1986, tot 30 de stații cu înregistrări reale. Figura 6 evidențiază o potrivire mai bună atunci când se utilizează GMPE-uri diferite pe intervale azimutale diferite, precum și importanța păstrării valorilor înregistrate. Se observă o formă ușor

diferită în Transilvania, datorată selecție Văcăreanu GMPE în harta din dreapta. Toate aceste diferențe se reflectă în mod direct în estimările de risc, autorii considerând că abordarea nou propusă este mult mai comprehensivă și adaptabilă la valorile datelor care vor fi nou înregistrate de stațiile seismice.

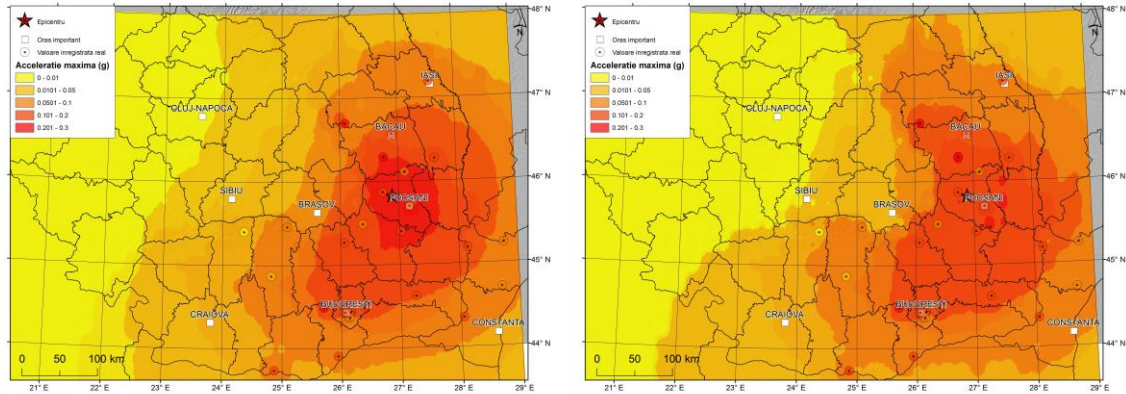


Fig. 6 Comparație între rezultatele metodologiei clasice ShakeMap (stânga) și metodologia nou propusă (dreapta), pentru un scenariu al cutremurului din 30 mai 1990

În această fază am mai analizat un alt aspect ce ține atât de hazard cât și de vulnerabilitate: diferența între spectrele elastice de design obținute conform specificațiilor EuroCode8, IBC2006 și P100/2013, considerând atât valori de accelerație maximă (PGA) cât și de accelerație spectrală la 0.3 și 1 sec. În figura 7 se poate observa comparația între spectre, pentru București (situl stației INCERC), pe baza valorilor înregistrate la cutremurele din 1977 și 1990. Este evident faptul că spectrul EuroCode8 nu se potrivește cu realitatea înregistrată, el fiind mult mai potrivit cutremurelor crustale. Spectrul IBC2006, folosit în prezent și în cadrul SeisDaRo, arată o potrivire bună, inclusiv cu spectrul recomandat prin P100/2013.

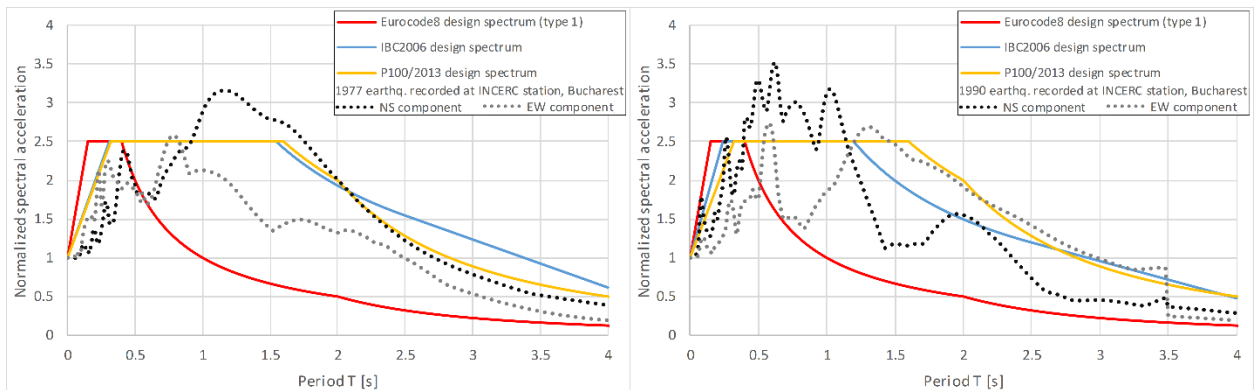


Fig. 7 Spectre elastice normalizate de design, calculate de Selena conform specificațiilor EuroCode8, IBC2006 și P100/2013, pentru situl stației INCERC din București și valori înregistrate la cutremurele din 1977 și 1990. Valorile conțin factori de amplificare pentru suprafață.

Referințe

- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2014) [Internet]. HAZUS-MH: Multi-Hazard Loss Estimation Methodology. Disponibil la: <http://www.fema.gov/hazus>
- Cattari S, Curti E, Giovinazzi S, Lagomarsino S, Parodi S, Penna A. (2004). Un modello meccanico per l'analisi di vulnerabilita del costruito in muratura a scala urbana. In: Proceedings of the 11th Conference "L'ingegneria Sismica in Italia", Genoa, Italy.
- Molina S., Lang D.H., Lindholm C.D., Lingvall F. (2010). User manual for the earthquake loss estimation tool: SELENA. Disponibil la: <http://selena.sourceforge.net>.
- Douglas J., Cotton F., Abrahamson N., Akkar S., Boore D.M., DiAlessandro C. (2011) Preselection of ground-motion prediction equations. Global GMPEs project deliverable: task 2.
- Sokolov V, Bonjer KP, Wenzel F, Grecu B, Radulian M. (2008). Ground-motion prediction equations for the intermediate depth Vrancea (Romania) earthquakes. Bull Earthq Eng, 6(3):367–88
- Vacareanu R., Radulian M., Iancovici M et al. (2014). Fore-arc and back-arc ground motion prediction model for Vrancea intermediate depth seismic source. In: Proceedings of the 2nd European conference on earthquake engineering and seismology, Istanbul, Turcia, 25-29 August 2014
- Toma-Danila D., Cioflan C.O., Balan S.F., Manea E.F. (2015). Characteristics and results of the near real-time system for estimating the seismic damage in Romania, Mathematical Modelling in Civil Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 33-41
- Manea E.F., Toma-Danila D., Cioflan C.O., Marmureanu G., Radulian M, Balan S.F. (2014). Seismic risk analysis for extra-Carpathian area of Romania, considering Vrancea intermediate-depth source; Proceedings of the Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (Istanbul, Turkey, 2014)

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

Prin această fază s-a reușit dezvoltarea unei soluții software integrând o nouă metodologie de utilizare a datelor de accelerație și accelerație spectrală în vederea producerii hărților de hazard. De asemenea, a fost evidențiat caracterul adecvat al spectrului IBC2006 pentru cutremurele intermediare Vranceane. Toate aceste rezultate contribuie la îmbunătățirea estimărilor Sistemului rapid de estimare a pagubelor generate de cutremure în România (SeisDaRo).

În continuarea proiectului este necesară și analiza datelor de vulnerabilitate pentru clădiri, a modelelor socio-economice de estimare a pagubelor și curbelor de vulnerabilitate (de capacitate și fragilitate) optime pentru realitatea națională.

Diseminarea rezultatelor proiectelor a fost realizată prin următoarele publicații (și de asemenea prin multiple prezentări la conferințe naționale și internaționale):

- Cioflan C.O., Toma-Danila D., Manea E.F. (2016) - Seismic loss estimates for scenarios of the 1940 Vrancea earthquake (chapter), pp 425-439. In: The 1940 Vrancea Earthquake. Issues, Insights and Lessons Learnt. Proceedings of the Symposium Commemorating 75 Years from November 10, 1940 Vrancea Earthquake. Eds: Vacareanu R. and Ionescu C., Springer Natural Hazards Series, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-319-29844-3
- Toma-Danila D., Armas I., Cioflan C.O. (2016) - Conceptual framework for the seismic risk evaluation of transportation networks in Romania (chapter), pp 481-496. In: The 1940 Vrancea Earthquake. Issues, Insights and Lessons Learnt. Proceedings of the Symposium Commemorating 75 Years from November 10, 1940 Vrancea Earthquake. Eds: Vacareanu R. and Ionescu C., Springer Natural Hazards Series, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-319-29844-3
- Armas I., Toma-Danila D., Ionescu R., Gavris A. (2016) - Quantitative population loss assessment: Seismic scenarios for Bucharest using 2002 census data. GI_FORUM Journal, Vol. 1, pp. 30-40, doi 10.1553/giscience2016_01_s30.
- Toma-Danila D., Cioflan C.O. - The seismic risk of urban transportation networks. Bucharest case study. International Conference on Urban Risks ICUR2016 Proceedings (30 June – 2 July 2016, Lisbon, Portugal)
- Balan S.F., Toma-Danila D., Apostol B.F. - Reinforced concrete buildings behaviour in the Metropolis of Bucharest during strong earthquakes in Romania. International Conference on Urban Risks ICUR2016 Proceedings (30 June – 2 July 2016, Lisbon, Portugal)

Responsabil proiect

Drd. Toma-Dănilă Dragoș