

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. Mircea Radulian

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr: 31N/2019

Proiectul: Cercetări avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul României în contextul interacțiunii multiple litosferă, hidrosferă, atmosferă, ionosferă (PN 19080102)

Faza 14i: Bază de date GIS cu modelul socio-economic de expunere și vulnerabilitate seismică (MODEVUS)

Termen de încheiere a fazei: 7 Decembrie 2021

1. Obiectivul proiectului

Proiectul propune o investigație multidisciplinară, complexă și intercorelată a fenomenelor care au loc în sistemul cuplat Litosfera-Hidrosfera-Atmosfera-Ionosfera, pentru modelarea fenomenelor tectonice și a proceselor seismice și identificarea relației spatio-temporale dintre structura geologică, tensiunile crustale, potențialul seismogen, în scopul descifrării conexiunilor complexe dintre fenomenele tectonice și efectele lor asupra câmpurilor geofizice măsurabile la suprafața Pământului. Proiectul urmărește totodată și modelele de propagare ale undelor seismice și estimarea efectelor acestora la suprafața Pământului, prin calcularea/măsurarea deformațiilor și deplasărilor crustei și a interacțiunii sol-structuri construite în scopul evaluării hazardului și reducerii riscului la cutremur, dar și a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Acest proiect va aborda fenomenul seismic în interconexiune cu fenomenele generate de sistemele litosferă, hidrosferă, atmosferă și ionosferă în scopul diminuării riscului, ținând cont de noile metode și procedee aplicabile la aceste sisteme cuplate, încercând să răspundă

provocarilor complexe de natura stiintifica si practica pe care dinamica Pamantului le ridica, in vederea cresterii rezilientei la cutremure.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivelor

Dezvoltarea cercetarilor avansate privind evaluarea cu metode specific seismologice, geotehnice, fizice si matematice a factorilor care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei pentru a asigura cresterea rezilientei societatii umane la cutremure. Se vor dezvolta modele de propagare ale undelor seismice si estima efectele acestora la suprafata Pamantului prin calcularea/masurarea deformatiilor si deplasarilor crustei si a interactiunii sol-structuri construite, in scopul evaluarii hazardului si reducerii riscului la cutremur, dar si a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Din analiza înregistrărilor de mișcări puternice ale cutremurelor vrâncene de magnitudine moderată și mare se va investiga variabilitatea observata în distribuțiile spațiale ale mișcării seismice a terenului. Se va implementa o noua metodologie prin abordari noi de evaluare a hazardului seismic folosind factorii neliniari de amplificare spectrală, în funcție de magnitudinea cutremurului și de condițiile locale ale amplasamentului seismic. Se vor realiza hărți de expunere și vulnerabilitate seismică, precum și cu estimări de pagube pentru scenarii seismice reprezentative. Îmbunătățirea capabilităților de estimare a pagubelor directe și indirecte generate de cutremure în România se va realiza în tip aproape real și pentru scenarii reprezentative. Calculul parametrilor sursei tip falie, estimarea activității seismice se vor realiza prin parametrizari stohastice a evenimentelor seismice cu implementarea de tehnici TMS (timp, magnitudine, spatiu). Identificarea și ierarhizarea parametrilor de interes ingineresc se va face în funcție de gradul influenței seismului asupra integrității clădirii.

3. Obiectivul fazei

- îmbunătățirea estimărilor de pagube seismice din România în baza unui model socio-economic de expunere și vulnerabilitate seismică actual

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei

- dezvoltarea unei baze de date GIS care să conțină un model socio-economic de expunere și vulnerabilitate seismică (MODEVUS) actual

5. Rezumatul fazei (maxim 5 pagini)

Elementele expuse la cutremure și vulnerabilitatea acestora reprezintă factori într-o continuă evoluție, ce trebuie să constituie subiectul unei analize repetate; prin adăugare considerentelor cu privire la hazardul seismic se poate ajunge la estimarea rapidă sau bazată pe scenarii a pagubelor ce pot avea loc. Principala țintă a acestei faze o constituie dezvoltarea unui model socio-economic de expunere și vulnerabilitate seismică actual (MODEVUS), care să fie integrat în cadrul metodologiilor de estimare a pagubelor seismice. Acest model va fi unul reprezentativ la nivel național (cel puțin la nivel de unitate administrativ-teritorială), făcând referire la aspecte precum numărul de clădiri

rezidențiale aparținând diferitor tipologii reprezentative (ideal și industriale și comerciale deși datele sunt limitate), numărul de locuitori aferent, profilul socio-economic al locuitorilor, rețele de transport precum și funcții de vulnerabilitate specifice pentru structuri. Baza de date în care va fi integrat modelul va avea un format specific Sistemelor Geografice Informatice (GIS), facilitând reprezentarea și analiza geo-spațială a datelor și interoperabilitatea cu alte sisteme informatice.

Pentru atingerea acestei ținte au fost întreprinse următoarele activități:

a) Analiza datelor de expunere existente

Pentru a dezvolta un produs actual și reprezentativ, un prim pas a fost colectarea și analiza datelor de expunere și vulnerabilitate deja existente.

În urma colaborărilor avute (național dar și internațional, cu parteneri precum NORSAR sau KOERI), INCDFP a dezvoltat și administrează începând cu 2011 singurul Sistem pentru Estimarea Rapidă a Pagubelor Generate de Cutremure în România (SeisDaRo), la a cărui dezvoltare a contribuit și Programul Nucleu, între 2016 și 2017, ducând la obținerea unei variante 3 puternic îmbunătățite (Toma-Danila et al., 2018). SeisDaRo este capabil să furnizeze la câteva secunde după producerea unui cutremur cu o magnitudine locală ≥ 3 în România sau împrejurimi estimări ale numărului de persoane afectate, utilizând ecuații de corelație între intensitate și expunerea populației, și la câteva minute estimări obținute mai complex (cu ajutorul metodelor analitice și funcțiilor de vulnerabilitate) ale numărului de clădiri rezidențiale afectate și ținând cont de acestea a numărului de locuitori răniți. Datorită faptului că SeisDaRo utilizează date în timp aproape real din cadrul Rețelei Seismice Naționale și încorporează unele din cele mai bune practici la nivel mondial, considerăm că în contextul actual acesta trebuie să reprezinte o soluție în jurul căreia să se concentreze eforturile de analiză a riscului seismic din România, cu impact și în studiile internaționale.

Versiunea 3 a SeisDaRo utilizează în prezent date colectate în cadrul Recensământului Populației și Locuințelor din 2011, utilizate într-o formă ușor diferită și în cadrul Proiectului Ro-Risk. Acestea au însă destule deficiențe în ceea ce privește colectarea dar și prelucrarea efectuată - identificate în cadrul analizei întreprinse în cadrul acestei faze. Printre acestea menționăm:

- Faptul că sunt menționate 151897 de clădiri din chirpici în perioada 1993 – 2011 (2.85% din totalul clădirilor) – raportare foarte greu de crezut (experiența limitată a recenzorilor precum și a respondenților în domeniul construcției spunându-și cuvântul, dacă nu este vorba despre alt aspect);
- Mențiunea a doar 2578 clădiri din zidărie în aceeași perioadă recentă – aspect foarte greu de crezut de asemenea, putând fi mai curând invers;
- 293636 clădiri considerate ca având material mixt de construcție nu au putut fi considerate în baza de date SeisDaRo 3; în 41 de UAT-uri, aceste clădiri reprezintă mai mult de 50% din totalul clădirilor. Clădirile din materialele mixte de construcție, de înălțimi medii și mari (peste 3 etaje) pot fi majoritar considerate ca fiind din beton

armat – pentru 2334 fiind și referință a perioadei de construcție. De asemenea, 2863 de clădiri de înălțime medie și mare pentru care materialul sau perioada de construcție nu sunt cunoscute pot fi încadrate în tipul beton armat, fiind necesară o investigație suplimentară în zone reprezentative.

- Pentru 57472 clădiri lipsește orice informație cu privire la caracteristici – toate fiind într-un număr de 546 UAT-uri. Din păcate, procente mari din acestea (de la 5 la 29,5% din totalul clădirilor per UAT) sunt în 44 de UAT-uri – 42 fiind orașe puternic expuse la valori mari ale hazardului seismic – Iași, Bacău, Galați, Focșani, Buzău sau Timișoara.

Alte date disponibile la INCDFP, cu privire la numărul clădirilor rezidențiale și a numărului de locuitori ai acestora, provin de la Recensământul din 2002 (pentru județele Olt, Dolj și Mehedinți) și din 1999 (din cadrul unui proiect al Băncii Mondiale, pentru 16 județe din Moldova și Muntenia dar și Constanța, precum și București. Acestea sunt la nivel de UAT – cele din 1999 fiind cele mai detaliate, conținând și informații cu privire la distribuția numărului de locuitori pe fiecare tipologie de clădire (ținând cont de perioadă de construcție, material și regim de înălțime). Cu toate acestea, există dubii cu privire la modul de realizare a acestei baze de date.

Din datele INCDFP de la Recensământul din 2011 lipsește și distribuția numărului de locuitori pe fiecare tipologie în parte, având numai valori la nivel de UAT care în cadrul SeisDaRo 3 au fost împărțite prin intermediul unei aproximări realizate în baza datelor disponibile anterior. Mai multe detalii despre această procedură, precum și altele care au stat la baza modelului utilizat în SeisDaRo 3 pot fi găsite în Toma-Danila și Cioflan (2021).

Astfel, necesitate validării în teren a unor date (deși efortul este unul considerabil), colectarea de noi date (următorul recensământ urmând să aibă loc în 2022), crearea de legături între seturi mai noi și mai vechi de date poate juca un rol important în rafinarea modelului, cu implicații majore asupra estimărilor de pagube. O încercare a fost făcută în cadrul modelului de expunere din cadrul Proiectului SERA (Crowley et al., 2020), considerându-se perioade reprezentative pentru anumite tipologii structurale (rezultând astfel o distribuție empirică pe subcategorii precum cadre de beton armat, pereți structurali sau sistem dual). Acesta trebuie însă la rândul său îmbunătățit.

Un modul al versiunii 2 a SeisDaRo intitulat THIMA și dezvoltat de către UTCB poate estima implicațiile seismice potențiale asupra unor clădiri de interes (școli, spitale, primării) din sudul României. Acesta în prezent nu este funcțional, însă baza de date detaliată din cadrul acestuia, conținând informații despre 722 clădiri din 45 de orașe aflate în 7 județe din sudul României (Călărași, Constanța, Dolj, Giurgiu, Mehedinți, Olt, Teleorman – analizate în cadrul Proiectului DACEA) precum și despre 604 clădiri din 9 regiuni aflate în nordul Bulgariei poate fi preluată și reutilizată – dacă repunerea în funcțiune a THIMA este dificilă. Aceste date au fost introduse în MODEVUS, conținând informații despre locație (latitudine și longitudine), perioada de construcție a clădirilor, materialul de construcție principal, numărul de etaje, funcție precum și parametrii ai

funcțiilor de capacitate și fragilitate (median și beta), pentru 4 grade ale avarierii (ușor, moderat, extins și complet).

Pentru București, un set de date de la Recensământul din 2011 și 2002, la nivel de unități de recensare, este disponibil în baza unui acord dintre INCDFP și CMRD al Facultății de Geografie a Universității din București. Acesta, chiar dacă are o complexitate mai redusă în ceea ce privește legăturile între categoriile de clădiri plus o diferențiere foarte mare de la un recensământ la altul în ceea ce privește forma unităților de recensare și caracteristicile tipologice ale clădirilor, poate ajuta la dezvoltarea unui model mult mai detaliat pe București (ceea ce a fost pus în evidență în cadrul studiului Toma-Danila și Armas, 2017).

Datele cu privire la încadrarea mai multor clădiri din București pe clase de risc seismic și/sau categorii de urgență sunt disponibile sub formă de listă pdf pe site-ul Administrației Municipale pentru Consolidarea Clădirilor cu Risc Seismic (AMCCRS). Recent, acestea au fost georeferențiate de către RE:RISE, cu sprijinul geo-spatial.org și au fost puse la dispoziție gratuit pe site-ul <https://www.dupacutremur.ro/>. Ele pot fi foarte utile pentru comparația cu seturile de date existente, pentru tipologii vulnerabile în special, dar și rafinarea unui model de expunere și vulnerabilitate pe București. Pe site-ul Ministerului Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației (MDLPA) mai pot fi găsite liste ale clădirilor expertizate și încadrate pe clase de risc seismic și din alte orașe ale României – la adresa <https://www.mdlpa.ro/pages/listacladirilocuitexpertizatetehnic>.

b) Analiza funcțiilor de vulnerabilitate existente

În cadrul SeisDaRo 3 au fost re-evaluate și completate datele cu privire la funcțiile de capacitate și fragilitate folosite. Acestea provin din mai multe surse: HAZUS-MH (2003), RISK-UE (Milutinovici și Trendafiloski, 2003), cu modificări din partea echipei de la UTCB pentru versiunea 1 a SeisDaRo din cadrul Proiectului DACEA sau Cattari et al. (2004). Între timp, noi funcții de capacitate, fragilitate dar și vulnerabilitate au fost publicate – atât pentru București cât și pentru țări cu particularități constructive destul de apropiate de România pentru anumite perioade. Printre acestea enumerăm Pavel și Carale (2019), Pavel și Văcăreanu (2020) dar și funcțiile disponibile gratuit și standardizate pentru European Seismic Risk Model 2020 (https://gitlab.seismo.ethz.ch/efehr/esrm20_vulnerability).

c) Dezvoltarea MODEVUS

Toate date de expunere menționate mai sus au fost preluate, standardizate și integrate în MODEVUS – adăugându-le și coordonate sau poligoane GIS reprezentative care țin cont și de contextul administrativ-teritorial de la momentul colectării datelor. O parte importantă a fost crearea de legături, prin ID-uri unice, între multiplele coloane ale seturilor de date. Astfel s-a creat posibilitate modelării mai ușoare a parametrilor pentru o zonă anume – inclusiv vizual, prin intermediul GIS. Pentru rafinarea datelor – proces încă în derulare, a fost testată varianta de adoptare a unui profil cu factori diferiți de influență (la care va trebui adăugat și un coeficient de incertitudine). Fiind clar că datele din 2011 au limitări semnificative, au fost făcute anumite alegeri preliminare pentru corectarea

datelor (precum cele observate mai sus), acestea fiind documentate în coloane speciale. Datorită complexității procesului, deocamdată ne-am axat pe prelucrarea datelor despre clădiri și locuitorii acestora. După definitivarea acestui proces important vom adăuga componente cu privire la vulnerabilitatea socială și economică, precum și valori de reconstrucție pentru anumite tipuri de clădiri, adaptate la costurile din prezent (în creștere). Ținând cont de experiența Proiectului Ro-Risk și a dezvoltărilor din cadrul acestora, realizate de către consorțiul INCDFP - URBAN INCERC – UTCB, un nou acord de colaborare care să faciliteze exploatarea în comun a datelor colectate și procesate atunci dar și disponibile în cadrul altor inițiative (existând date de care INCDFP nu dispune) este de interes – MODEVUS putând deveni alături de SeisDaRo un produs comun cu impact și mai mare.

În cadrul MODEVUS a fost adăugat și un tabel cu parametrii pentru funcții relevante clădirilor de pe teritoriul României (inclusiv din cele foarte recente), care vor fi în continuare testate – acest proces putându-se realiza ușor.

d) Noi seturi de date

Pentru MODEVUS au fost elaborate de asemenea și noi seturi de date. Acestea sunt următoarele:

- Date cu privire la spitalele din București și Ilfov. Acestea au fost identificate din diferite surse oficiale. Dincolo de coordonatele geografice au fost adăugate (unde au fost informații disponibile) date cu privire la specialități medicale, număr de paturi disponibile pe anumite secții, an de construcție (pentru corpuri de clădire în parte) sau clase de risc seismic. A fost făcută și o evaluare calitativă a importanței în caz de cutremur, pe 4 clase de importanță, cu aportul medicilor și personalului implicat în SMURD.
- Un set de date cu privire la rețeaua rutieră din București, compatibil cu extensia Network Analyst a ArcGIS și integrând informații cu privire la valorile tipice de trafic. Acesta a rezultat în urma procesării majoritar automate a datelor gratuite OpenStreetMap (OSM) la nivelul lunii octombrie 2021, precum și a datelor de trafic TomTom, la nivelul lunii aprilie 2019. Acesta poate contribui la identificarea timpilor de parcurs anterior și posterior unui cutremur și la calculul unor indicatori de reziliență ce vor putea fi integrați în MODEVUS și în analiza SeisDaRo.

Baza de date MODEVUS constituită este de tip File geodatabase, fiind compatibilă cu softul ESRI ArcGIS dar și cu QGIS, respectând standardele bazelor de date din domeniul GIS.

Referințe

Cattari S, Curti E, Giovinazzi S, Lagomarsino S, Parodi S, Penna A. (2004) Un modello meccanico perl'analisi di vulnerabilita del costruito in muratura a scala urbana. In: Proceedings of the 11th Conference "L'ingegneria SismicainItalia", Genoa, Italy.

FEMA (2003) HAZUS-MH Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, U.S.A

Milutinovici Z.V. și Trendafiloski G.S. (2003) WP4: Vulnerability of current buildings, RISK-UE Project (An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns), Contract: EVK4-CT-2000-00014

Pavel F. și Carale G. (2019) Seismic assessment for typical soft-storey reinforced concrete structures in Bucharest, Romania, International Journal of Disaster Risk Reduction 41:101332

Pavel F. și Văcăreanu R. (2020) Assessment of the Seismic Performance for a Low-Code RC Shear Walls Structure in Bucharest (Romania), The Open Construction and Building Technology Journal 14(1):111-123

Toma-Danila D., Cioflan C.O. (2021) Îmbunătățirea sistemului pentru estimarea rapidă a pagubelor generate de cutremure în România (SeisDaRo), printr-o mai bună considerare a particularităților hazardului și vulnerabilității locale (capitolul 16), In: Cercetări multidisciplinare privind monitorizarea cutremurelor și modelarea fenomenului seismic, ed. Ionescu C., Radulian M., Bala A., Editura Academiei Române, București, pp. 389-417

Toma-Danila D., Armas I. (2017) Insights into the possible seismic damage of residential buildings in Bucharest, Romania, at neighborhood resolution. Bulletin of Earthquake Engineering, 15(3):1161-1184, doi: 10.1007/s10518-016-9997-1

Toma-Danila D., Cioflan C., Ionescu C., Tigianescu A. (2018) The near real-time system for estimating the Seismic Damage in Romania (SeisDaRo) - recent upgrades and results. Proceedings of the 16ECEE (Thessaloniki, Greece).

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

a) Rezultate

În cadrul acestei faze au fost analizate seturi de date disponibile anterior cu privire la expunere și vulnerabilitate și au fost adunate standardizat într-o bază de date GIS (versiunea 0.1) care conține un model de expunere și vulnerabilitate seismică (MODEVUS) de actualitate.

Articolele științifice publicate cu privire la această fază:

1. Marmureanu A., Ionescu C., Grecu B., Toma-Danila D., Tigianescu A., Neagoe C., Toader V., Craifaleanu I.-G., Dragomir C.S., Meita V., Liashchuk O.I., Dimitrova L., Ilie I. (2021) From National to Transnational Seismic Monitoring Products and Services in the Republic of Bulgaria, Republic of Moldova,

Romania, and Ukraine. *Seismological Research Letters*, 92 (3): 1685–1703, doi: 10.1785/0220200393

Comunicările științifice susținute cu privire la această fază:

1. Toma-Danila D., Tigianescu A., Cioflan C.O., Ionescu C., Balan S.F. (2021) 10 years of rapid earthquake loss estimation in Romania: insights and foreseen improvements. *Balkan Geophysical Society International Congress* (online/Bucharest, Romania, 10-15 Oct 2021)
2. Toma-Danila D., Radulian M., Neagoe C., Cioflan C.O., Grecu B., Bala A., Manea E.F., Tigianescu A., Tataru D. (2021) Improving the configuration of seismic networks in urban areas in order to better understand local site effects and building vulnerability - Bucharest case study, 37th General Assembly of the European Seismological Commission (online, 19-24 Sept 2021)
3. Toma-Danila D., Balan S.F., Molina S., Kharazian A., Armas I., D'Ayala D., Sun L., Tigianescu A., Vintila D., Cioflan C.O. (2021) Steps forward in rapid earthquake loss estimation for Romania, 37th General Assembly of the European Seismological Commission (online, 19-24 Sept 2021)
4. Toma-Danila D., Radulian M., Bala A., Cioflan C.O., Tigianescu A. (2020) THE SCIENTIFIC OPPORTUNITY OF A MAJOR EARTHQUAKE IN ROMANIA (oral presentation). *Geoscience International Symposium* (20-21 November 2020, online event).

b) Stadiul realizării obiectivului fazei

Obiectivul a fost realizat integral în ceea ce privește realizarea bazei de date care să conțină modelul MODEVUS – modelul conținând majoritatea datelor disponibile în cadrul INCDFP pe tematica acesteia, dar urmând a fi îmbunătățit și exploatat în cadrul următoarelor faze ale proiectului.

c) Concluzii

Prin cadrul acestei faze a proiectului s-au pus bazele unui model socio-economic de expunere și vulnerabilitate seismică (MODEVUS) actual, integrat într-o bază de date GIS, care urmează să fie unul din instrumentele principale în studiile de risc seismic la nivel național. Acesta a fost adus la un nivel net superior inițiativelor precedente – urmând a facilita un mai bun control al potențialelor erori sau modelelor nesatisfăcătoare, precum și o integrare ușoară în sisteme precum SeisDaRo sau OpenQuake.

d) Propuneri pentru continuarea proiectului

După îmbunătățiri adiționale identificate în urma analizei noastre, MODEVUS urmează a fi utilizat în cadrul estimărilor de pagube realizate prin intermediul Sistemului pentru Estimarea Rapidă a Pagubelor Generate de Cutremure în România (SeisDaRo), OpenQuake sau altele avute în vedere (precum Platformele proiectelor europene TURNkey sau REDACT), putând de asemenea contribui și la revizuirea Modelului European de Expunere și Vulnerabilitate început în cadrul Proiectului SERA. De

asemenea, în baza noilor date disponibile, baza de date va fi îmbunătățită. Datorită caracterului sensibil al anumitor date dar și drepturilor de proprietate pentru anumite componente, diseminarea sa publică va fi făcută parțial. Bazei de date urmează a îi fi atribuit un cod DOI (obiect de identificare digital).

Responsabil faza
Dr. Toma-Dănilă Dragoș

Responsabil proiect
Dr. Iren Moldovan