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. 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: 3 . Verificarea legilor de atenuare existente pe baza datelor istorice macroseismice revizuite

Termen: 08.12.2017

1. <u>Obiectivele proiectului</u>

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.
- O3. Verificarea legilor de atenuare existente pe baza datelor istorice macroseismice revizuite.

Objectivele specifice sunt:

O1.

- Harți macroseismice pe baza reevaluări 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.

O3.

- Verificarea legilor de atenuare existente.
- 2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivelor
- <u>Hărți de daune</u>
- Determinarea cele mai bune legi de atenuate pentru cutremurele intermediare din zona seismică Vrancea.

3. Obiectivul fazei

- Verificarea legilor de atenuare existente pentru cutremurele de adâncime intermediară vrâncene și selectarea celei mai bune legi.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei

Ne propunem ca la finalul studiului să putem specifica care dintre legile de atenuare testate este recomandată să se folosească pentru zona Vrancea – cutremurele de adâncime intermediară.

5. <u>Rezumatul fazei</u>

Hazardul seismic măsoară probabilitatea înregistrării unui anumit nivel de intensitate a mișcării solului într-un anumit loc și într-un anumit interval de timp ca urmare a activității seismice. Mișcarea solului poate fi măsurată instrumental sau prin efectele macroseismice resimițite. În perioadele pre-instrumentale singurele mărimi disponibile pentru trasarea hărților de hazard erau observațiile macroseismice colectate în urma cutremurului. Pe baza acestor observații se puteau analiza efectele cutremurului în diferite zone. Observațiile privind efectele cutremurului sunt folosite și în prezent în paralel cu măsurătorile instrumentale. Deși nu pot avea precizia instrumentelor de măsură, ele prezinta totuși un interes deosebit prin cantitatea mare de informații și acoperirea spațială. În prezent, în cadrul Institutului Național de C-D pentru Fizica Pământului sunt disponibile prin internet doua tipuri de chestionare ce pot fi completate on-line de catre populatie. Informațiile chestionarelor sunt procesate rapid și permit realizarea de hărți macroseismice în timp cvasi-real. Astfel de hărți indică modul în care acțiunea undelor seismice a fost resimțită în diferite zone populate și sunt de mare interes pentru organele competente și factorii de decizie însărcinați cu managementul situațiilor de urgență. Studiul hazardul seismic este important pentru reducerea riscului seismic și pentru a putea îmbunătăți masurarile ce

trebuiesc luate pentru prevenirea dezastrelor. Hazardul seismic are două abordări: una deterministă și una probabilistă. În ambele abordări este necesară stabilirea legii de atenuare. În continuare sunt prezentate legile de atenuare testate în aceasta etapa a proiectului.

Primele legi de atenuare au fost propuse la începutul secolului XX de Kövesligethy (1906) printro funcție simplă de forma:

$$I_0 - I = 3Log(\frac{R}{h}) + 3\alpha Log(e)(R - h)$$
⁽¹⁾

I = intensitatea într-un punct (localitate);

 I_0 = intensitatea în epicentru;

R= distanta hipocentrala (km);

h= adâncimea (km);

a si b = constante;

Log(e) = 0.4343, e constanta Euler;

 α = o constanta determinata pentru fiecare regiune, cu valori în domeniul 0.002-0.006 (Karnik, 1969);

Pentru cutremurele vrâncene au fost determinate mai multe legi de atenuare după cum urmează:

1. Moldovan (2007)

Legea propusă de Moldovan (2007) are forma:

$$I = I_0 + n \log \sqrt{1 + \frac{d^2}{h^2}} + c \cdot \alpha \left(\sqrt{h^2 + d^2} - h\right)$$
(2)

unde I – intensitatea macroseismică în punctul studiat, I_0 – intensitatea epicentrală, n și c – paramentri distribuției (Tabelul 1), d – distanța epicentrală, h – adâncimea (în kilometri), $\alpha = 0.0012$. Coeficienții n și c au fost estimați pe sectoare azimutale a câte 15 grade.

Azimut	n	c
0	-3,59516	-2,3
15	-5,94089	-1,22
30	-1,69964	-1,5
45	-1,95074	-1,39
60	-3,25824	-1,4
75	-5,56363	-1,18
90	-7,02662	-1,1
105	-5,48569	-1,39

Tabel 1. Parametrii relației de atenuare Moldovan (2007).

120	-5,402	-1,55
135	-3,71915	-1,73
150	-3,7476	-1,72
165	-2,49525	-1,77
180	-2,36612	-1,73
195	-2,28276	-1,55
210	-1,09136	-1,8
225	-1,355	-1,76
240	-1,0693	-1,75
255	-2,13533	-1,7
270	-4,79691	-1,64
285	-5,11263	-2,4138
300	-4,76939	- 2,77
315	-4,76954	-3,09
330	-6,84275	-2,5968
345	-3,03096	-3,06

2. Sorensen et al. (2010)

Legea lui Sorensen et al. (2010) este o relație fizică unde primii trei termeni reprezintă intensitatea epicentrală ca funcție de magnitudinea moment și adâncimea focală, al patrulea și al cincilea termen reprezintă dispersia geometrică (având în vedere efectele la distanțe mici) și absorția energiei (cele mai semnificative la distanțe mari). Pentru a ține cont de dimensiunea finită a sursei, R a fost definită ca distanța Joyner-Boore, adică cea mai scurtă distanță la suprafața proiectată pe planul focal.

Pentru determinarea relatiei de atenuare au fost folosite cinci cutremure majore cu magnitudinea M_w = 6.4-7.7 și adâncimea cuprinsa în intervalul h=79-150 km (Tabelul 2).

Eveniment	Data	Ora la origine (GMT)	Adâncimea (km)	M _w	I _{mim}	I _{max}
1940	10.11.1940	01:39:07.00	151-181	7.7	3	9
1977	04.03.1977	19:21:54.00	93-131	7.4	4	8
1986	30.08/1986	21:28:37.00	125-148	7.1	2	8
1990a	30.05.1990	10:40:06.40	73-90	6.9	2	8
1990b	31.05.1990	00:17:47.90	84.5-94	6.4	2	8

Tabel 2 Evenimentele folosite	pentru determinarea legii de atenuare	Sorensen et al. (2010)
-------------------------------	---------------------------------------	------------------------

$$I = c_1 \cdot M_W + c_2 \cdot \log(h) + c_3 - c_4 \cdot \log\sqrt{\frac{R^2 + h^2}{h^2}} - c_5 \cdot \left(\sqrt{R^2 + h^2} - h\right) + c_6 \cdot M_W \cdot dI \quad (3)$$

Unde:

I reprezintă intensitatea; M_w este magnitudinea moment, h –adâncimea până la centrul centroidului; R - distanța Joyner-Boore, cea mai mica distanță față de suprafața de rupere; c1-c6 – parametri izotropi; dI este o funcție de corecție empirică regională ca o funcție spațială

$$dI(\lambda,\theta) = \sum_{j=1}^{5} p_{6,j} \cdot \exp\left(-\left[p_{3,j} \cdot (\lambda - p_{1,j})^2 + 2p_{5,j}(\lambda - p_{1,j})(\theta - p_{2,j}) + p_{4,j} \cdot (\theta - p_{2,j})^2\right]\right)$$

unde: λ – este latitudinea; θ – longitudinea; p_{ij} – parametri prezentați în Tabelul 3

Tabel 3 Parametri de regresie p_{i,j}, pentru funcția de corecție regională, valabilă pentru relația bazată pe distanța Joyner-Boore.

	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5
i=1	25.012	22.899	25.847	29.981	28.202
i=2	46.597	44.514	42.777	45.119	46.301
i=3	0.311	0.262	0.216	0.644	0.342
i=4	0.494	1.355	0.716	1.661	0.862
i=5	0.169	0.484	0.157	-0.869	-0.510
i=6	-1.624	1.863	-1.189	1.077	1.107

3. Văcăreanu et al. (2015)

Relația propusă de Văcăreanu et al. (2015) ține cont de poziția geografică a amplasamentului în raport cu zona de curbură a Munților Carpați. Datele folosite sunt cele prezentate de Kronrod et al. (2013) pentru cele 6 cutremure majore din sec. XX și XXI (Tabelul 4), unde valorile de intensiate sunt determinate în funcție de scara de intensități MSK.

Tabel 4 Cutremurele utilizate pentru determinarea legii de atenuare Văcăreanu et al. (2015)

Data	Latitudine (⁰ N)	Longitudine (⁰ E)	Magnitude (Mw)	Adâncime (km)	Nr. punctelor de înregistrare
10.11.1940	45.80	26.70	7.7	150	835
04.03.1977	45.34	26.30	7.4	94	4088
30.08.1986	45.52	26.49	7.1	131	2199
30.05.1990	45.83	26.89	6.9	91	1664
31.05.1990	45.85	26.91	6.4	87	802
27.10.2004	45.84	26.63	6.0	105	234

$$I_{i,j} = c_1 + c_2 \cdot M_{W,i} + c_3 \cdot \log \left\{ \frac{d_{ij}^2 + h_i^2}{h_i^2} - c_4 (1 - ARC_j) \left(\sqrt{d_{ij}^2 + h_i^2} - h_i \right) + c_5 ARC_j (\sqrt{d_{ij}^2 + h_i^2} - h_i) + \eta_i + \varepsilon_{ij} \right\}$$
(4)

unde: *i* este indexul cutremurului, *j* este indexul de amplasament, *I* este intensitatea macroseismică MSK, M_w este magnitudinea moment, *d* distanța epicentrală (în kilometri) și *h* adâncimea focală (în kilometri). Termenul ARC este un coeficient care indică localizarea amplasamentului față de Arcul Carpatic: ARC=0 pentru zona din spatele arcului și ARC=1 pentru zona din fața arcului; c- coeficienții obținuți din setul de date prin analiza regresiei și η_i respectiv ε_{ij} sunt rezidurile inter-eveniment.

4. Sokolov et al. (2009)

Legea de atenuare propusă de Sokolov et al. (2009) – relația 5 - este dependenta de magnitudine și distanța epicentrală. Ea este definită pentru 8 regiuni care compun teritoriul României: 1 regiunea de Nord, 2 - regiunea de Est, 3 - regiunea Focșani, 4 - regiunea Vrancea, 5 - regiunea de Sud, 6 - regiunea Sud-Vest, 7 - regiunea orogenului carpatic si 8 – regiunea <u>Transilvania</u>.



Fig. 1 Distribuția funcțiilor de amplificare a regiunilor pe teritoriul României

$$\ln Y = a_1 + (a_2 + a_3) \cdot \ln M + (c_4 + c_5 \ln H)R + a_6 H \pm \varepsilon$$
(5)

Unde: M este magnitudinea moment, R distanța epicentrală (km), H adâncimea focală (km), a1a6 unde coeficienții de atenuare sunt dependenți de adâncime și magintudine și ε deviația standard.

Datele folosite la realizarea legii de atenuare provin de la 5 cutremure vrancene de adâncime intermediară.

Interpretarea rezultatelor

În această etapă a proiectului au fost testate cele patru legi de atenuare pe un set de cutremure vrâncene (Tabelul 6) din perioada pre-instrumentală și evenimentele majore din secolele XX-XXI. De asemenea, au fost analizate implicațiile relațiilor de atenuare pentru hărțile de ShakeMap.

Data	Latitudinea	Longitudinea	Adâncimea	Magnitudinea
	(⁰ N)	(⁰ E)	(km)	(M w)
11.06.1738	45.70	26.60	130	7.7
26.10.1802	45.70	26.60	150	7.9
26.11.1829	45.80	26.60	150	7.3
23.01.1838	45.70	26.60	150	7.5
17.08.1893	45.70	26.60	100	7.1
10.09.1893	45.70	26.60	99.9	6.5
31.08.1893	45.70	26.60	130	7.1
10.11.1940	45.80	26.70	150	7.7
04.03.1977	45.78	26.80	94	7.4
30.051990	45.83	26.89	84	6.9
31.05.1990	45.88	26.98	90.9	6.4
27.10.2004	45.84	26.63	105.6	6.0

Table 6 Cutremurele folosite în acest studiu

Prezentăm mai jos rezultatele obținute pentru trei cutremure produse în perioade de timp diferite (1940, 1894, 1838), pentru care s-au aplicat legile de atenuare descrise mai sus.

Cutremurul din 1940



Fig. 2 Harta de intensitati macroseismice (datele sunt din Kronrod et al. 2013)

Valorile intensităților macroseismice (Scară de intensitate Medvedev MSK64, Medvedev et al. 1964) pentru acest eveniment (Fig. 2) sunt preluate din Kronrod et al. (2013).

În partea dreapta a figurilor 3 - 6 sunt prezentate harțile mișcărilor puternice (Shake-Map) construite pe baza legilor de atenuar propuse pentru testare iar în partea dreaptă este prezentată distribuția valorilor de intensitate în funcție de distanța epicentrală. Cu roșu sunt reprezentate valorile intensităților calculate cu ajutorul legilor de atenuare testate, cu verde sunt valorile intensităților observate, C-O reprezintă diferența dintre valorile observate și cele calculate iar O-C este diferența dintre cele observate și cele calculate.



Fig. 3 Evaluarea legii de atenuare Moldovan (2007)



Fig. 4 Evaluarea legi de atenuare Sorensen et al. (2010)







Fig. 6 Evaluarea legii de atenuare Sokolov et al. (2009)

În cazul cutremurului major din 1940, analizarea comportării relațiilor de atenuare a condus la urmatoarele concluzii:-Legea de atenuare Moldovan (2007), (Fig. 4)- valorile calculate sunt mai mari față de cele observate;

- Legea lui Sorensen et al. (2010), (Fig. 4) - valorile calculate sunt mai mici fața de cele observate;

- Legea lui Vacareanu et al. (2015), (Fig. 5) - valorile calculate până pe la distanțe de 400 km sunt mai mici decât cele observate. Pentru distanțe mai mari față de epicentre, valorile calculate sunt mai mari sau asemănătoare cu cele observate;

- Legea lui Sokolov et al. (2009), (Fig. 6) – varianta VS04_msk (A): au fost folosite datele inițiale unde valorile calculate sunt mai mici față de cele observate; - varianta VS04_mod (B): a fost adaugat un offset de 0.2 la valoarea calculata a intensității obținand valori mai mici până la distanțe de până la 400 km și asemanatoare cu valorile observate pentru distante mai mari.

Cutremurul din 31.08.1893

Harta macroseismica pentru cutremurul istoric din 1893 este prezentată în Fig. 7. Pentru realizarea ei au fost folosite datele macroseismice din lucrarile lui Hepites (1893) și Watzof (1902), obținute de cei doi autori imediat după producerea evenimentului.



Fig. 7 Harta de intensități macroseismice



Fig. 8 Evaluarea legii de atenuare Moldovan (2007)



Fig. 9 Evaluarea legii de atenuare Sorensen et al. (2010)



Fig. 10 Evaluarea legii de atenuare Văcăreanu et al. (2015)



Fig. 11 Evaluarea legii de atenuare Sokolov et al. (2009)

Din analiza legilor de atenuare pentru acest eveniment (Fig. 8-11) se poate observa că relația propuse de Moldovan (2007), supraestimează valorile de intensitate față de cele observate, în timp ce relațiile Văcăreanu et al. (2015), Sokolov et al. (2009) și Sorensen et al. (2010) subestimează valorile de intensitate.

Cutremurul din 1838

Cutremurul din 1838 a avut loc la 36 ani după cutremurul major din 1802. Efectele macroseismice observate sunt reprezentate în Fig. 12.



Fig. 12 Harta de intensitati macroseismice (datele sunt preluate din lucrarea Rogozea et al. 2014)



Fig. 13 Evaluarea legii de atenuare Moldovan (2007)



Fig. 14 Evaluarea legii de atenuare Sorensen et al. (2010)



Fig. 15 Evaluarea legii de atenuare Văcăreanu et al. (2015)



Fig. 16 Evaluarea legii de atenuare Sokolov et al. (2009)

Se poate observa că, pentru acest eveniment, în general, toate cele patru relații de atenuare testate conduc la valori în domeniul valorilor observate. Diferențele dintre valorile observate și cele calculate sunt în majoritatea lor sub 2 grade. În cazul relatiei Văcăreanu et al. (2015) se observă o tendință de subestimare la distanțe sub 300 km și o tendință de supraestimare la distanțe mai mari.

În ceea ce privește forma distributiei, în cazul Moldovan (2007), (Fig. 13) izoseistele se extind mult înspre NE (Moldova), în contradicție cu datele de observație (Fig. 12). Relațiile Sorensen et al. (2010) și Sokolov et al. (2009), (Fig. 14 și 16) reproduc forma specifica de "rinichi" (sau banana –Marmureanu et al. 2008). În schimb, relația Vacareanu et al. (2015), (Fig. 15) descrie o formă oarecum simetrică și o scadere aproximativ liniară cu distanța epicentrală. Și în acest caz, datele calculate supraestimeaza datele de observație pe directive NE.

Din studiul realizat în cadrul acestei faze a proiectului, reiese că imparțirea pe regiuni propusă de Sokolov et al. (2009) este cea mai apropiată de ceea ce se cunoaste despre atenuarea undelor seismice în cazul cutremurelor vrancene de adâncime intermediară. Rezultatele obținute cu această relație conduc la formele de distribuție cele mai apropiate de cele observate. De asemenea sunt cele mai stabile la introducerea ajustărilor locale în funcție de valorile în punctele de observație (ajustări folosite în generarea hărților de ShakeMap). Tendința generala de subestimare a valorilor observate se poate corecta prin adaugarea unui offset. A fost propus un offset de 0,2, ramânând să fie verificat dacă aceasta este soluția optimă sau este mai potrivită introducerea unui offset variabil în funcție de adâncime sau distanța epicentrală.

Referinte

Hepites St., Registrul cutremurelor de pamant din Romania Anul 1893, Analele Academiei Române, Tom VII, Part, 2, Anul 1893.

Karnık, V., 1969, Seismicity of the European Area, Reidel, Doredrecht

Kövesligethy, R. de, 1906, A makroszeizmikus rengések feldolgozása, Math. és Természettudományi Értesítő, 24, 349-368.

Kronrod T, Radulian M, Panza G, Popa M, Paskaleva I, Radovanovich S, Gribovszki K, Sandu I, Pekevski L (2013) Integrated transnational macroseismic data set for the strongest earthquakes of Vrancea (Romania). Tectonophysics doi: 10.1016/j.tecto.2013.01.019.

Marmureanu G, Cioflan CO, Marmureanu A (2008) New approach on seismic hazard isoseismal map for Romania. Rom Rep Phys 60(4):1123–1135.

Medvedev SV, Sponheuer W, Karnik V. (1964), Neue seismic Skala (Intensity scale of earthquakes), 7. Tagung der Europaischen Seismologischen Kommission vom 24.9. bis 0.9.1962 in Jena, Veroff. Institte fur Bodedynamik und Erdbebenforschunh in Jena 77, 69-6. Medvedev (1968).

Moldovan I.A., (2007), Metode si modele statistice in seismologie, pag 236, Editura Morosan, Bucuresti.

Rogozea M, Marmureanu Gr, Radulian M, Toma D, (2014) Reevaluation of the macroseismic effects of the 23 January 1838, Vrancea earthquake, Romania Report in Physics, Vol.66.

Sokolov Vladimir, Wenzel Friedemann, Mohindra Rakesh, (2009) Probabilistic seismic hazard assessment for Romania and sensitivity analysis: A case of joint consideration of intermediatedepth (Vrancea) and shallow (crustal) seismicity, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 29, 364-381. Sørensen M.B, Stromeyer D, Grunthal G, (2010) A macroseismic intensity prediction equation for intermediate depth earthquakes in the Vrancea region, Romania, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, doi:10.1016/j.soildyn, 2010.05.09.

Văcăreanu R, Iancovici M, Neagu C, Pavel F, (2015) Macroseismic intensity prediction earthquake for Vrancea intermediate-depth seismic source, Nat. Hazards doi:10.1007/s11069-015-1994-y.

Watzof S., Tremblements de terre en Bulgarie au XIXe siècle. Institut Central Meteorologique de Bulgarie, pp.37-39, 42-43, 1902.

6. <u>Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea</u> <u>proiectului</u>

Selectarea celei mai bune legi de atenuare pentru cazul cutremurelor vrancene este importanta pentru calculul hartilor miscarilor puternice (SakeMap).

Din analiza facuta in aceasta etapa a proiectului reiese că legea de atenuare a lui Sokolov et al. (2009), modificată (prin adaugarea unui offset de 0,2) este cea mai bună pentru cutremurele produse in zona Vrancea.

Diseminarea rezultatelor obținute în cadrul acestei faze a fost realizată prin participarea la o conferință națională și una internaționalăconferințe naționale (o prezentare orală și un postăr) și publicarea rezultatelor în cadrul unui proceeding indexat ISI.

Maria Marilena ROGOZEA, Iren Adelina MOLDOVAN, Angela Petruta CONSTANTIN, Elena Florinela MANEA, Carmen Ortanza CIOFLAN, Liviu Marius MANEA; Testing the macroseismic intensity attenuation laws for Vrancea intermediate depth earthquakes, 6CNIS\$2CNISS-2017, București, (proceeding, publicat în urma conferinței 6CNIS\$2CNISS-2017, București).

- 1. Maria Marilena ROGOZEA, Iren Adelina MOLDOVAN, Angela Petruta CONSTANTIN, Elena Florinela MANEA, Carmen Ortanza CIOFLAN, Liviu Marius MANEA; Testing the macroseismic intensity attenuation laws for Vrancea intermediate depth earthquakes, 6CNIS\$2CNIS\$-2017, București, (prezentare orală).
- 2. Maria ROGOZEA, Iren-Adelina MOLDOVAN, Angela Petruta CONSTANTIN, Liviu MANEA; Testing the macroseismic intensity attenuation laws on the Vrancea (Romania) subcrustal seismic events, IBWAP-2016, Constanța, (postăr).

Responsabil proiect, Dr. CS. Rogozea Maria-Marilena