

Contractor: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pamantului
Cod fiscal : 5495458 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL

Dr. Ing. Constantin Ionescu

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM

Dr. Mircea Radulian

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 31N/2019

Proiectul PN 19080102 : Cercetari avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei in contextul interactiunii multiple litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera.

Faza 4f, 2019: Caracterizarea zonelor seismic active și legăturile cu dinamica blocurilor crustale din partea de sud a României: Platforma Moesica, Dobrogea Centrala si sudica, Orogenul Nord Dobrogean. Determinarea axelor de stress prin inversie din mecanismele cutremurelor din fiecare zona și actualizare hartii de stress a Romaniei la nivel crustal.

Termen de incheiere a Fazei: 16.08.2019

1. Obiectivul proiectului:

Proiectul „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocari în înțelegerea dinamicii Pamantului” 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 Pamantului. Proiectul urmărește totodată și modelele de propagare ale undelor seismice și estimarea efectelor acestora la suprafața Pamantului, 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 litosfera, hidrosfera, atmosfera și ionosfera în scopul diminuării riscului, ținând cont de noile metode și procedee aplicabile la aceste sisteme cuplate, încercând să răspundă provocărilor complexe de natură științifică și practică pe care dinamica Pamantului le ridică, în vederea creșterii rezilienței la cutremure.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Pentru atingerea obiectivului: 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 si vulnerabilitate seismică, precum si cu estimări de pagube pentru scenariile seismice reprezentative. Imbunătățirea capabilităților de estimare a pagubelor directe si indirecte generate de cutremure în România se va realiza in timp aproape real si pentru scenariile reprezentative. Calculul parametrilor sursei tip falie, estimarea activitatii 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. Se vor propune norme metodologice coerente de monitorizare a stării de sănătate și integritate a construcțiilor.

3. Obiectivul fazei:

Unul dintre cele mai evidente efecte ale eliberării de stres în crustă sunt cutremurele tectonice. Datorită numărului mare de mecanisme focale existente în urma cutremurelor din studiile regionale și a numărului crescând de soluții de mecanisme făcute public, de ex. Proiectul Global CMT (fostul grup de seismologie din Harvard) sau NEIC / USGS, mecanismele focale unice ale cutremurelor (FMS) formează majoritatea înregistrărilor de date din baza de date WSM. Datele privind mecanismele focale furnizează informații privind mărimile relative ale tensiunilor principale, astfel încât ele pot fi atribuite unui anumit regim tectonic.

Determinarea principalelor orientări de stres și a mărimilor relative din aceste mecanisme trebuie făcută cu multa precauție. Trei tipuri de înregistrări de date din mecanismele focale se disting în baza de date a World stress map (WSM): Single (FMS), inversiuni formale (FMF) și mecanisme focale medii / compuse (FMA). Principala diferență dintre acestea în ceea ce privește indicarea stresului este fiabilitatea acestora pentru a indica stresul tectonic regional. Mecanismele focale medii de pe o anumita arie tectonica ce se presupune a avea o comportare unitara sunt cele care stau la baza determinarii axelor de stres.

Metodologia va urmari etapele:

- a. Stabilirea si descrierea unitaților tectonice principale, precum si a zonelor seismogene care au fost puse în evidență în partea de sud și est a României.
- b. Stabilirea faliilor tectonice cunoscute din date geologice/geofizice precum si liniile de sensibilitate la cutremure din date seismologice.
- c. Alcatuirea unei baze de date cu mecanismele de cutremure care se au avut loc la nivel crustal în aceste zone tectonice.
- d. Determinarea prin inversie a axelor de stres orizontal în fiecare zona seismica, precum si a raportului relativ dintre ele.
- e. Comparatie între regimul seismic al axelor de stres din fiecare zona si modele tectonice din zonă.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- 4.1. Catalogele de evenimente seismice cu mecanism utilizate în zonele seismologice din România
- 4.2. Determinarea axelor de stres orizontal prin inversie din mecanismele cutremurelor din fiecare zona, precum și actualizarea hărții de stres a României la nivel crustal.
- 4.3. Concluzii asupra stresului crustal și legăturile posibile cu tectonica zonei de sud a României.

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

Caracterizarea zonelor seismic active și legăturile cu dinamica blocurilor crustale din partea de sud a României: Platforma Moesica, Dobrogea Centrala și sudica, Orogenul Nord Dobrogean. Determinarea axelor de stres prin inversie din mecanismele cutremurelor din fiecare zona și actualizare hărții de stres a României la nivel crustal.

5.1. Catalogele de evenimente seismice cu mecanism utilizate în zonele seismologice din România

A fost analizat un catalog al soluțiilor de mecanism pentru cutremure înregistrate în România între 1929 și 2012 pentru a evidenția caracteristicile statistice ale soluțiilor mecanismului în corelație cu zonele predispuse la cutremure și tectonica din România. Catalogul conține ambele grupuri: a. cutremure crustale ($h < 50$ km); b. cutremure cu profunzime intermediară ($h \geq 50$ km), dar aici sunt analizate doar cutremurele crustale.

Pentru perioada 1929-2000 datele au fost publicate în "Catalogul revizuit al mecanismelor de cutremur pentru evenimentele care au avut loc în România până la sfârșitul secolului XX - REFMC", [6]. Pentru perioada 2000 - 2012 catalogul este completat cu date de la: "Mecanismul cutremurului și caracterizarea zonelor seismogene din sud-estul României", [7].

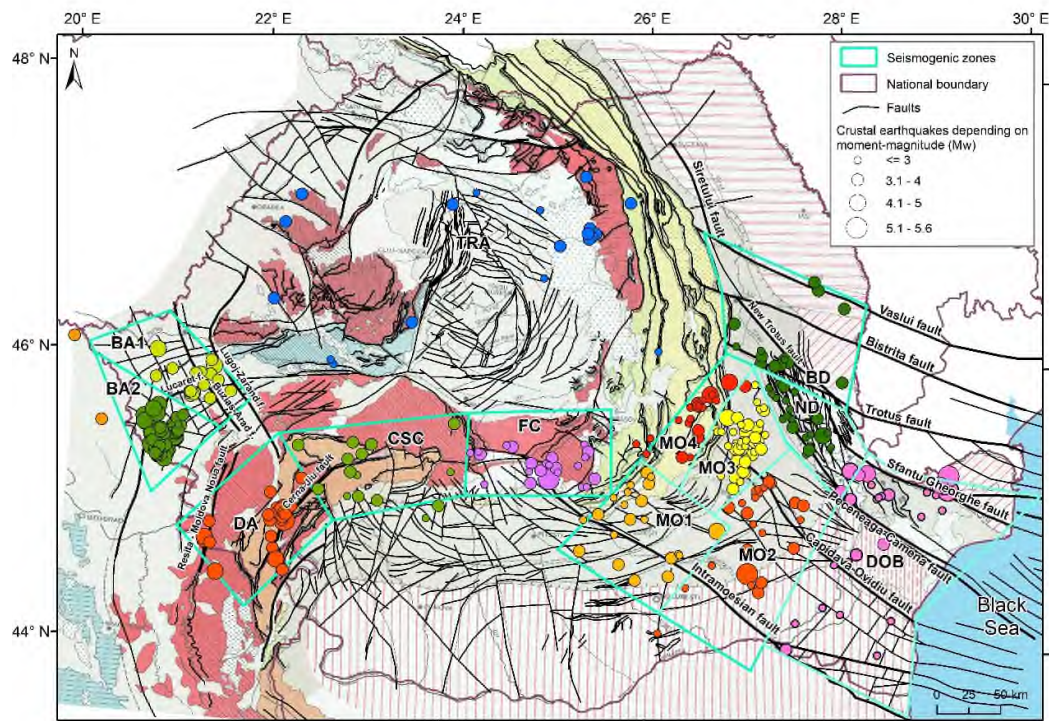


Fig. 5.1 Harta cu evenimente seismice din partea de sud a României cu mecanism focal.

Pentru că în zona Dobrogei cutremurele sunt limitate ca număr, am folosit și datele din [8]. Toate evenimentele crustale cu mecanisme din cele trei cataloage sursă sunt luate în considerare și cartografiate în Fig. 5.1 și caracteristicile acestora sunt rezumate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Numarul de cutremure înregistrate între 1929 și 2012 cu mecanism focal și plan de falie selectat, care au fost luate în considerare în prezentul studiu.

Regiunea seismică	Nr. de evenimente cu mecanism	M_w	Interval de adanime (km)	Nr. de polaritati
Surse crustale $0 < h \leq 50$ km	354	2.3 - 5.6	1-49	8-185
Platforma Moesica (MO)	122	2.3 - 5.4	2 - 49	10 - 73
Orogenul Nord Dobrogean - Depresiunea Barlad NDO-BD	38	2.4 - 5.1	3 - 33	10 - 81
Dobrogea (DOB)	30	2.3 - 4.5	2 - 37	10 - 25
Fagaras-Campulung (FC-CSC)	41	2.5 - 5.2	1 - 48	10 - 38
Basin Transilvania (TRA)	20	2.6 - 3.8	1 - 28	10 - 37
Banat (BA) – BA1+BA2	78	2.5 - 5.6	1 - 33	8 - 104
BA1	19	2.5 - 5	1 - 25	8 - 20
BA2	59	2.5 - 5.6	1 - 33	8 - 104
Danubian zone (DA)	25	2.6 - 5.3	4 - 20	8 - 185

5.2. Calculul stresului orizontal în crustă pentru grupari de cutremure cu mecanism

Cunoașterea mecanismelor focale pentru un set de cutremure care au avut loc într-o anumită zonă seismică, atunci ele pot fi utilizate în inversie pentru determinarea stresului tectonic orizontal. Inversiunea se bazează pe mai multe ipoteze, conform [3]: (1) stresul este relativ uniform în regiune; (2) cutremurele apar pe falii cu orientări diferite; (3) vectorul alunecător este pe direcția tracțiunii forfecării maxime pe falie (așa-numita ipoteză Wallace-Bott, a se vedea [2]) și (4) cutremurele nu interacționează reciproc și nu deranjează stresul tectonic de fond. În aceste condiții, inversiunea de tensiune permite estimarea orientării axelor principale de tensiune și a raportului de formă (tensiune):

$$R = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 - \sigma_3)$$

și $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

Ipotezele inversiunii de stres aparent sunt foarte restrictive, însă analiza observațiilor reale demonstrează că acestea sunt bine satisfăcute în cele mai multe cazuri, în special pentru seismicitatea locală formată de cutremure slabe sau moderate [9].

O dificultate frecventă a inversărilor de stres a mecanismelor focale este ambiguitatea în alegerea planului de falie dintre cele două planuri nodale. Deoarece planurile de falie incorect selectate în mecanismele focale pot duce la determinarea incorectă a raportului de tensiune determinat [4], procesul de inversie poate fi îmbunătățit prin încorporarea unui algoritm pentru identificarea planului de falie pe baza evaluării instabilității direcțiilor de falie. Așa cum este propus de [3], inversia în comun pentru determinarea orientării stresului și a direcțiilor de falie, care utilizează conceptul de instabilitate se desfășoară în mai multe iterații. În prima iterație, stresul este estimat folosind plane de falie selectate aleatoriu din planurile nodale. Acest proces se repetă până când se converge la valoarea finală. De obicei, aproximativ 5-10 iterații sunt suficiente pentru obținerea stresului final ([3]; [9]).

Din indicatorii de stres care furnizează magnitudine de stres relativă, regimul tectonic este derivat în funcție de tabelul de clasificare a regimului de stres. Mărimile de stres sunt definite

utilizând notația standard geologică / geofizică cu rezistență la compresiune pozitivă și $S_1 > S_2 > S_3$, astfel încât S_1 și S_3 sunt tensiunile principale, maximă și respectiv minimă.

Pe lângă categoriile standard NF, TF și SS, există combinații de NF cu SS (NS) și TF cu SS (TS) (Zoback, 1992). NS reprezintă datele în care forța maximă principală (sau axa P) are o înclinare mai mare dintre axele P și B. TS reprezintă datele în care forța minimă principală (sau axa T) are o înclinare mai mare dintre axele B și T. Înclinările (plunge) axelor P, B și T (sau axele S_1 , S_2 și S_3) utilizate pentru a aloca datele de stres regimului de solicitare sunt prezentate în tabelul de mai jos (conform Zoback, 1992).

5.3. Programul folosit – StressInverse

Programul STRESSINVERSE este folosit aici, în care inversiunea se bazează pe metoda lui Michael [10] și este inclus un criteriu de instabilitate propus de Lund & Slunga [11]. Detalii despre metodă și acuratețea acesteia sunt publicate în [3].

Partiția epicentrelor seismelor analizate se bazează pe zonarea seismică descrisă de [6] și [7], precum și un studiu pentru seismicitatea crustală [12], în care MO este divizată în 4 clustere (MO1 - MO4, vezi Fig. 5.1). Aceste mecanisme pot fi combinate pentru a determina orientările principalelor axe de stres printr-o inversare formală a mecanismelor focale (FMF) [1] în Proiectul World Stress Map. Deși zonele seismice nu sunt extinse, avem suficient mecanisme în fiecare zonă seismică, iar calitatea rezultatelor noastre validă alegerea noastră pentru gruparea evenimentelor [1].

Programul de calcul STRESSINVERSE are două avantaje principale. Primul este că puteți utiliza la intrare o selecție aleatorie a principalelor planuri de falieri ale mecanismelor considerate, iar codul poate calcula la ieșire o listă a planurilor reale de falieri care corespund stresului mediu calculat în zonă. Am testat această posibilitate pe o selecție de 12 evenimente cu mecanisme sursă calculate, în sudul Dobrogei. Am încercat mai întâi codul cu planele de falieri A și apoi cu planele de falieri B. Programul a oferit la ieșire o selecție a planurilor de falieri reale și, de asemenea, orientarea medie a mecanismelor evenimentelor din zonă pentru ambele cazuri. Diferența dintre valorile mecanismului mediu calculat în cele două cazuri este de ordinul a 2-3%.

5.4. Rezultate – axele de stress orizontal și precizii obținute

În fig. 5.2 sunt prezentate stereograme ale principalelor axe de stres în toate regiunile studiate pe harta tectonică [4]. Pe stereogramele din fig. 5.2 se pot vedea limitele de încredere ale principalelor direcții de stres σ_1 , σ_2 , σ_3 . Pentru Dobrogea am folosit în inversie toate mecanismele din zonă, și în ciuda faptului că Dobrogea este divizată în două unități tectonice diferite, stresul tectonic crustal pare să se comporte într-un mod similar. Același lucru pentru MO2 și MO3, inclus în zona MO. Estimarea erorilor este asigurată de o inversare de stres repetată a mecanismelor focale contaminate cu zgomet artificial. Folosim 100 de realizări de zgomet aleator în inversiune. Nivelul de zgomet de 10-12 grade corespunde preciziei estimate a mecanismelor focale de intrare. Procesul de inversie este oprit după 5 iterații.

Magnitudinea stresului relativ (R) măsoară dacă magnitudinea stresului intermediar σ_2 , este mai aproape de magnitudinea stresului compresiv (σ_1), sau de cea a stresului cel mai puțin compresiv (σ_3).

Conform [13], regimul de tensiune este o funcție a orientării axelor principale de tensiune și a formei elipsoidului de tensiune (R): de extensie atunci când σ_1 este verticală, de alunecare atunci când σ_2 este verticală și de compresiune atunci când σ_3 este vertical. Deci, putem introduce indexul regimului de stres R' , iar relațiile dintre R și R' sunt:

$R' = R$ atunci când σ_1 este vertical (regim de solicitare extensivă);

$R' = 2 - R$ atunci când σ_2 este vertical (regim de alunecare);

$R' = 2 + R$ atunci când σ_3 este vertical (regim compresional).

Indicele regimului de tensiune (R') definește regimul de tensiune pe o scală continuă de la 0 (extindere radială) la 3 (compresie radială), în detaliu de la 0 la 1 pentru regimul de falie normală (σ_1 sub-vertical), de la 1 la 2 pentru regimul de alunecare (σ_2 sub-vertical) și de la 2 la 3 pentru regimurile de falie inversă (σ_3 sub-vertical).

Toate datele de ieșire obținute cu codul STRESSINVERSE pentru zonele seismice din România, la nivel crustal, sunt prezentate în Tabelul 2. Conform valorii lui R și valorii afundării pentru σ_1 , σ_2 , σ_3 , care este mai aproape de verticală, am stabilit valoarea R' și regimul tectonic al zonei în funcție de inversarea mecanismelor selectate. Pentru unele regiuni am descoperit un regim tectonic neconcludent deoarece două dintre valorile înclinării sunt aproape de 45° , deci nu putem stabili regimul tectonic pe datele pe care le avem, de exemplu în MO1 și MO2. Chiar dacă am reunit toate datele din MO1 și MO2, regimul tectonic rămâne neconcludent (Tabelul 2). Situația este diferită în MO3 și MO4, unde avem un anumit regim cu deficit al tracțiunii și chiar dacă combinăm datele, rezultatul este foarte asemănător.

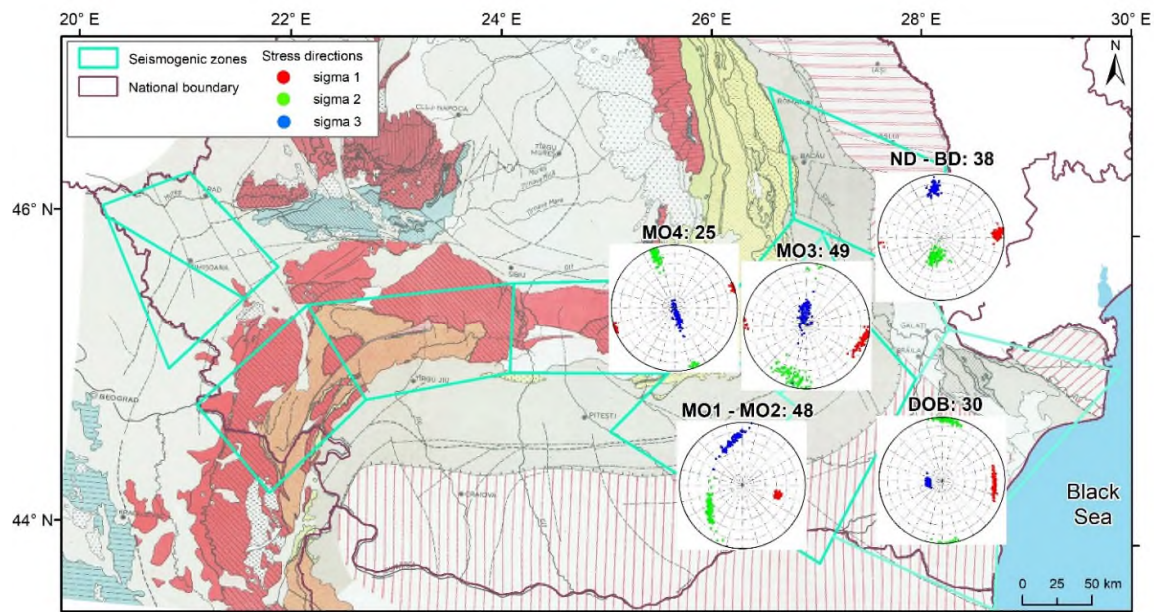


Fig. 5.2. Harta cu direcțiile stresului crustal în partea de sud a României.

Valoarea raportului de tensiune R este între 0.33 ± 0.17 și 0.87 ± 0.1 (MO1-MO2), fig. 5.3. Limitele de încredere sunt foarte mari deoarece raportul de formă este sensibil la numărul de mecanisme focale inversate și la precizia lor. Valoarea scăzută a raportului de formă fizic înseamnă că tensiunile sunt de magnitudine similare și deci axele nu pot fi ușor delimitate.

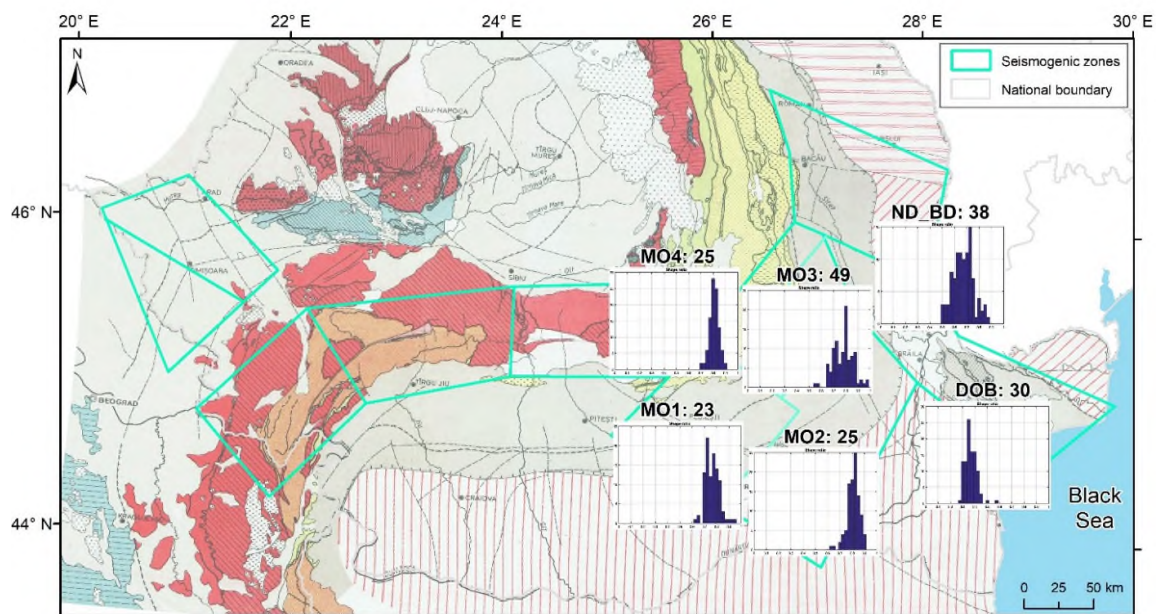


Fig. 5.3. Harta cu magnitudinea relativa a stresului crustal în fiecare zona seismică - R.

Tabelul 2. Determinarea regimului tectonic din magnitudinea relativa a stresului crustal.

Seismic zone	No. ev.	σ_1	σ_2	σ_3	R	R'	F. type	Tectonic regime
		Strike/pl	Strike/pl	Strike/pl				
MO1	23	119/39	306/ 51	212/3	0.75+/-0.10	1.25	-	inconclusive
MO2	25	80/38	189/23	302/ 43	0.81+/-0.10	2.81	-	inconclusive
MO1-MO2	48	108/ 42	220/23	330/39	0.87+/-0.10	0.87	-	inconclusive
MO3	49	103/7	195/14	348/ 74	0.80+/-0.14	2.80	TF	Radial compression
MO4	25	71/0	341/4	163/ 86	0.81+/-0.10	2.81	TF	Radial compression
MO3-MO4	74	84/1	354/19	177/ 71	0.78+/-0.10	2.78	TF	Radial compression
DOB	30	94/20	184/0	274/ 70	0.38+/-0.12	2.38	TF	compression
ND-BD	38	85/7	194/ 69	352/20	0.66+/-0.12	1.34	SS	Strike-slip

5.5. Harta WSM in Romania dupa varianta 2016.

Din analiza hărții din Fig. 5.4 care ilustrează o mare diversitate de orientări și schimbări ale stresului tectonic pe scări spațiale mici, se poate concluziona că aportul forțelor de la marginile de placă asupra mărimii stresurilor tectonice este mic, iar tensorul de stres are valori proprii similare, adică o stare de stres apropiată de cea izotropică (Heidbach et al., 2007; Heidbach et al., 2016). Acest fapt sugerează o mare influență a surselor de ordin terțiar atât asupra orientării S_H cât și asupra regimului tectonic. Printre sursele posibile de stres local se pot enumera: relieful (topografia), contrastele laterale de densitate și de rezistență din bazinul Focșani, cu 11 km de sedimente neogene, vorlandul carpatic, platforma Moesică, subsidența bazinului datorată tragerii fragmentului de litosferă subdus și rotirea stresului la capetele faliilor. Suprapunerea acestor diferite surse de stres conduce la un câmp de stres complex cu orientări ale S_H care se schimbă la câțiva kilometri, așa cum se vede din mecanismele focale ale cutremurelor locale.

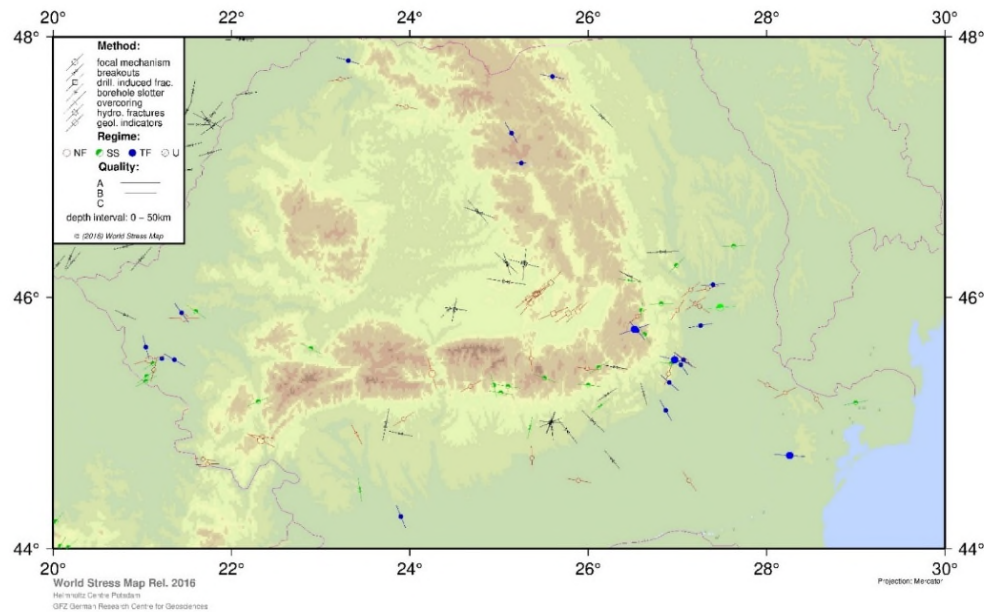


Fig. 5.5. Harta stresului crustal orizontal in partea de sud a Romaniei (S1) realizata cu programul CASMO.

In Fig. 5.5 este prezentat pe fondul hărții din Fig. 5.4 axele principale de stres determinate în urma inversiei, ale caror valori se găsesc în Tabelul 1, **σ1**. Ele sunt reprezentate doar pentru zonele MO3, MO4, pentru DOB și pentru ND-BD unde este singura zona cu regim strike-slip determinate până acum.

Bibliografie

- [1] Barth A., Reinecker J., Heidbach O., Stress derivation from earthquake focal mechanisms, World Stress Map Project, 2008.
- [2] Bott M. H. P., The mechanics of oblique-slip faulting, Geological Magazine, 96, 109- 117, 1959.
- [3] Vavryčuk V., Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms. Geophysical Journal International, 199, 69–77, 2014.
- [4] Săndulescu M., Geotectonics of Romania (in Romanian), Ed. Tehnică, Bucharest, Romania, 1984, pp 334.
- [5] Hippolyte J.-C., Geodynamics of Dobrogea (Romania): New constraints on the evolution of the Tornquist - Teisseyre Line, the Black Sea and the Carpathians. Tectonophysics, 357, 33- 53, 2002.
- [6] Radulian M., Bala A., Ardeleanu L., Toma-Danila D., Petrescu L., Popescu E., Revised catalogue of earthquake mechanisms for the events occurred in Romania until the end of twentieth century: REFMC, Acta Geodaetica et Geophysica, 54, 3–18, 2019.
- [7] Radulian M., Bala A., Popescu E., Toma-Danila D., Earthquake mechanism and characterization of seismogenic zones in south-eastern part of Romania. Annals of Geophysics 61(1), SE108, 2018. doi: 10.4401/ag-7443.
- [8] Malita Z., Radulescu F., Focal mechanisms of some crustal earthquakes that occurred in the Pannonian depression (Arad– south Timisoara area), the Moesian platform and North Dobrogean Orogen, Rev. Roum. de Geophys., 54, 19–37, 2010.
- [9] Fojtíková L. and Vavryčuk V., Tectonic stress regime in the 2003–2004 and 2012–2015 earthquake swarms in the Ubaye Valley, French Alps, Pure Appl. Geophys., 175, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1792-2>

- [10] Michael A.J., Determination of stress from slip data: Faults and folds, *J. Geophys. Res.*, 89, 11.517-11.526, 1984.
- [11] Lund B. and Slunga R., Stress tensor inversion using detailed microearthquake information and stability constraints: Application to Olfus in southwest Iceland *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, vol. 104, B7, 14947-14964, 1999.
- [12] Raileanu V., Dinu C., Ardeleanu L., Diaconescu M., Popescu E., Bala A., Crustal seismicity and associated fault systems in Romania, Proceedings of the 27-th ECGS Workshop: Seismicity Patterns in the Euro-Med Region, in *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie*, 153-160, 2009.
- [13] Delvaux, D., Moeys, R., Stapel, G., Petit, C., Levi, K., Miroshnich, K., Ruzhich, V., Sankov, V., Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part 2. Cenozoic rifting. *Tectonophysics*, 282, 1- 38, 1997.
- [14] Heidbach O., Reinecker J., Tingay M., Muller B., Sperner B., Fuchs K., Wenzel F., Plate boundary forces are not enough: Second- and third-order stress patterns highlighted in the World Stress Map database, *TECTONICS*, vol. 26, TC6014, 2007. doi:10.1029/2007TC002133
- [15] Heidbach O., Rajabi M., Reiter K., Ziegler M., WSM Team (2016): World Stress Map Database release 2016. GFZ data service. Doi.org/10.5880/WSM.2016.001
- [16] Sonder, L.J.1990. Effects of densit contrasts on the orientation of stresses in the lithosphere: relation to principal stress directions in the Transvers ranges, California. *Tectonics*, 9, 761-771.
- [17] Bala A., Toma-Danila D., Radulian M., Horizontal stress field in the Earth crust of Romania using multiple focal mechanism solutions, 839-846, 19-th International Multidisciplinary scientific geoconference *SGEM 2019*, Vol. 19, issue 1.1, 839-846, DOI //doi.org/10.5593/sgem2019/1.1

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare).

Rezultate

1. Cataloagele de evenimente seismice cu mecanisme utilizate în zonele seismologice din România
2. Determinarea axelor de stres orizontal prin inversie din mecanismele cutremurelor din fiecare zona, precum si actualizarea hărții de stres a României la nivel crustal.
3. Concluzii asupra stresului crustal și legaturile posibile cu tectonica zonei de sud a României.

Stadiul realizării obiectivului fazei

Prin rezultatele prezentate referitoare la parametrizarea sursei cutremurelor subcrustale din zona Vrancea, prin sinteza relatiilor de scalare ale parametrilor sursei seismice pentru toate evenimentele pentru care au fost evaluati parametrii de sursa consideram ca **obiectivele fazei au fost indeplinite in totalitate** si ca **angajamentele asumate au fost** atinse, iar proiectul a atins gradul de implementare scontat pentru aceasta faza.

Propuneri pentru continuarea proiectului:

In această etapă, **obiectivul a fost indeplinit integral** iar **rezultatele obtinute sunt in concordanta cu tintele propuse** venind in sprijinul implementarii proiectului. In viitor, parametrizarea sursei cutremurelor subcrustale si crustale trebuie sa continue, aplicand metode de calcul noi si tot mai performante.

Rezultatele obtinute in acesta faza au fost si vor fi publicate si prezentate la conferinte stiintifice nationale si internationale.

Concluzii

Inițial, am împărțit zona seismică Moesia (MO) în patru subzone, dar rezultatele arată că MO1 și MO2 în partea de nord a MO au un regim de falieri asemanator, în timp ce MO3 și MO4 au un regim tectonic neconcludent, probabil pentru că aproape toate evenimentele din zona sunt răspândite pe falii secundare care se intersectează reciproc. De asemenea, S2 și S3 sunt răspândite pe stereograme, fiind poziționate într-un domeniu destul de larg [17].

În Dobrogea am adunat datele din nordul, centrul și sudul Dobrogei și s-au obținut rezultate coerente care arată un regim tectonic de falieri normale, asemanator cu cel propus de Hyppolite et al. 2004. În zona orogenului Nord dobrogean, care este acoperit de un pachet sedimentar (ND), este prezent un regim de alunecare (strike-slip), care ar putea fi legat de poziția evenimentelor seismice care se află fie pe falia crustala Peceneaga - Camena (partea de nord) sau pe unele falii asociate, care sunt foarte apropiate și au aceeași orientare (Fig. 5.1). Aceasta este singura regiune în crusta românească în care se observă un regim tectonic de strike-slip (de alunecare pe direcție) care este activ prezent [17].

Diversitatea orientărilor Shmax și schimbările regimului tectonic din crustă dintr-o zonă seismică în alta ne conduc la concluzia că contribuția stresului regional (cum ar fi forțele tectonice ce acționează la limita plăcilor tectonice sub forma unor falii strike-slip SS la scară mare) asupra magnitudinii stresului tectonic este foarte mică. Aceasta implică faptul că sursele locale de stres au o mare influență atât asupra orientării Shmax, cât și asupra regimului tectonic din Carpații de Curbură din SE, precum și din Carpații Meridionali.

Eventualele surse locale de stres în crustă sunt: densitatea laterală și contrastele de rezistență (bazinul Focșani cu adâncime de 15 km, avanfosa, platforma Moesică sau, cel mai probabil, subsidența bazinului Focșani datorită efectului de tragere al unei subducții anterioare în zona Vrancea).

Suprapunerea acestor surse secundare multiple de stres conduce la un câmp complex de stres crustal și schimbări pe scară redusă a regimului tectonic, așa cum am văzut în zonele MO, cu 4 subzone seismice și ND-BD, și deasupra zonei seismogene Vrancea. Cutremurele moderate și puternice de adâncime din Vrancea sunt urmate de roiuri de cutremure în crustă, care sunt plasate în principal pe un sistem de falii secundare, paralele cu Carpații și nu pe principalele falii crustale din zonă [12]. Deși zonele noastre seismogene crustale acoperă o zonă mult mai largă decât a zonei Vrancea, concluziile noastre sunt foarte asemănătoare cu cele din [14] și [15] pe datele WSM înregistrate pentru România. Singura zonă de falieri, care poate fi caracterizată de regim tectonic strike-slip, este segmentul central al faliei Peceneaga - Camena.

Articole publicate

1. Andrei Bala, Dragos Toma-Danila, Mircea Radulian, Focal mechanisms in Romania: statistical features representative for earthquake-prone areas and spatial correlations with tectonic provinces, Acta Geodaetica et Geophysica, <https://doi.org/10.1007/s40328-019-00260-w>
2. Bala A., Toma-Danila D., Radulian M., Horizontal stress field in the Earth crust of Romania using multiple focal mechanism solutions, 19-th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Vol. 19, issue 1.1, 839-846, DOI //doi.org/10.5593/sgem2019/1.1
3. Narvic Doru Mateciuc, Andrei Bălă, APPLICATIONS OF SPACE GEODESY METHODS IN ROMANIA, 19-th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Vol. 19, Issue 2.2, 733-748, DOI //doi.org/10.5593/sgem2019/2.2

Responsabil Faza
Dr. Andrei Bala

Responsabil Proiect
Dr. Iren-Adelina Moldovan