

**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.: 15N/16.03.2018**

**Proiectul PN 18 15 01 01/2018 : Aplicarea analizelor moderne de estimare a hazardului la cutremure și tsunami în vederea evaluării și reducerii riscurilor asociate**

**Faza: V/2018 - Modele ale structurii crustei terestre și corelarea cu zonele seismice active.**  
**Comparatie între caracteristicile mecanismelor din zonele considerate și direcțiile preponderente ale faliilor din zona. Dinamica blocurilor crustale.**

**Termen: 7.09.2018**

1. Obiectivul proiectului: Aplicarea metodelor moderne in estimarea hazardului seismic regional si local si evaluarea si reducerea riscului seismic.
2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului: Acest proiect are ca obiectiv realizarea unei investigatii complexe care sa evidentieze interconectarea fenomenelor care au loc în interiorul Pamantului cu cele de la suprafata, in scopul modelarii proceselor seismice si a fenomenelor tectonice si identificarea relatiei spatio-temporale dintre structura geologica, tensiunile crustale, potentialul seismogen si modelele de propagare ale undelor seismice în scopul evaluării hazardului si riscului la cutremur, dar si a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Pentru a indeplini acest obiectiv se au in vedere mai multe directii de cercetare: (1) estimarea si masurarea efectelor cutremurelor in cazul diferitelor amplasamente, modelarea propagarii undelor seismice prin structuri cu anumite caracteristici, in vederea introducerii lor ca date de intrare pentru proiectarea antisismica, (2) evidentierea relatiei complexe dintre structura geologica, tensiunile crustale si potentialul seismogene al unor arii seismice active, (3) determinarea parametrilor surselor seismice crustale si subcrustale: momentul seismic scalar, căderea de tensiune, raza și durata sursei, frecventa de colt, pentru cutremurele ale caror inregistrari au un raport semnal/zgomot mai mare decat 5, (4) parametrizarea gruparilor seismice din zonele seismogene ale Romaniei, (5) dezvoltarea de noi relatii de atenuare a intensitatii macroseismice pentru cutremurele crustale si subcrustale pentru realizarea unor analize de risc bazate pe scenarii seismice, (6) evaluarea post-seismică a stării structurii clădirilor, în cazul cutremurelor puternice, (7) estimarea pagubelor și evaluarea rapida a efectelor macroseismice

și (8) evaluarea unor hazarde secundare asociate cutremurelor și anume fenomenul tsunami din zona litoralului românesc al Marii Negre.

### 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 publice, 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 poate fi atribuit un regim tectonic.

Determinarea principalelor orientări de stres și a mărimilor relative din aceste mecanisme trebuie făcută cu precauție apreciabilă. 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 anumită arie tectonică ce se presupune a avea o comportare unitară sunt cele care stau la baza determinării axelor de stress.

#### **Metodologia va urmări etapele:**

- 3.1. Stabilirea și descrierea unităților tectonice principale, precum și a zonelor seismogene care au fost puse în evidență în partea de sud a României.
- 3.2. Alcatuirea unei baze de date cu mecanismele de cutremure care se găsesc la nivel crustal în aceste zone tectonice.
- 3.3. Comparatie între caracteristicile mecanismelor crustale și direcțiile preponderente ale faliilor din zonă.

### 4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- 4.1. Se vor contura și descrie principalele unități tectonice principale din partea de sud a României, inclusiv zona seismic activă Vrancea. În această zonă se vor stabili zonele seismice active împreună cu descrierea lor, așa cum apar în ultimele cercetări seismologice.
- 4.2. Se vor alcatui baze de date cu mecanisme de cutremure la nivel crustal, până la 50 km adâncime.
- 4.3. Va fi efectuată o abordare cantitativă între axele de stress ale mecanismelor crustale și direcțiile preponderente ale faliilor din zonă.

### 5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

## **Rezumat Etapa V/2018**

### **Modele ale structurii crustei terestre și corelarea cu zonele seismice active. Comparație între caracteristicile mecanismelor din zonele considerate și direcțiile preponderente ale faliilor din zona. Dinamica blocurilor crustale.**

#### **1. Descrierea unităților tectonice din partea de Sud a României**

Tectonica României cuprinde atât platforme pre-alpine, cât și unități orogene alpine: marginea occidentală a Platformei est-europene (Platforma moldovenească), platforma Scitică și platforma Moesică, Carpații Orientali, Meridionali și de Vest (Munții Apuseni), orogenul Nord Dobrogean, Bazinul Transilvaniei și marginea occidentală a depresiunii Panonice (Sandulescu 1984). Contactele dintre principalele unități tectonice sunt marcate de falii cu extindere crustală, unele dintre ele încă seismogene.

În platforme, o acoperire sedimentară cu o grosime variabilă, de la câteva sute de metri până la 10 km sau mai mult, acoperă fundamentul cristalin. Zonele de platformă sunt încălecate de către unitățile externe ale Carpaților, ceea ce a dus la scufundarea subsolului platformei sub orogen de-a lungul unor falii paralele cu Carpații. Alte fracturi crustale, oblice sau transversale față de Carpați, au

creat o structură în blocuri neegale. Multe dintre fracturile secundare ale crustei care marchează blocurile relativ mici au dovedit că generează o seismicitate scăzută până la moderată (Sandulescu, 1984).

Zonele seismogene sunt reprezentate ca zone poligonale cu potențial de generare a cutremurelor de dimensiuni caracteristice și cu o frecvență specifică în timp. Pentru România s-au propus mai multe configurații de zone seismogenice, pornind de la două abordări: distribuția geografică (Radu et al., 1980; Constantinescu și Mârza, 1980) și distribuția seismo-geotectonică (Radulian et al., 2000; Radulian et al., 2002 și actualizări succesive, cum ar fi Pavel et al., 2016). În acest raport se face o prezentare a acestor zone seismogene în așa fel încât ele să poată fi discutate în funcție de zonele tectonice pe care le acopera parțial.

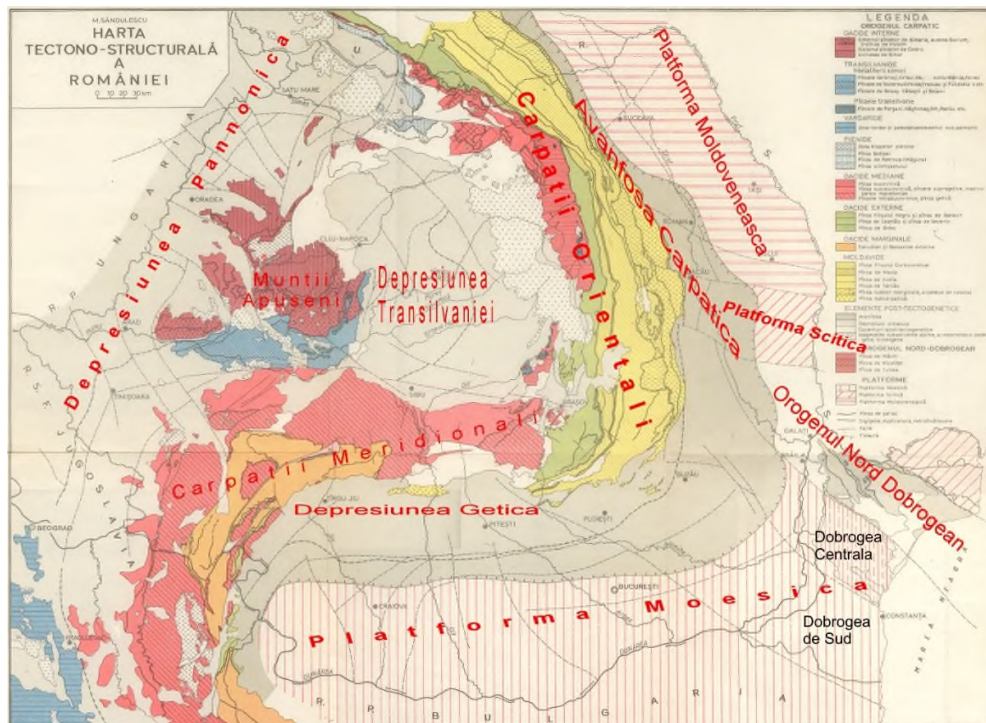


Figura 1. Harta tectono-structurală a României cu principalele unități tectonice (Sandulescu, 1984).

## 2. Descrierea principalelor zone seismogene din partea de sud a României

### 2.1. Sectorul estic al platformei Moesice – *zona seismogenă MO*

Întregul sector estic al Platformei Moesice, de la falia Intramoesică spre vest, până la contactul cu orogenul Nord Dobrogean și depresiunea Barlad (falia Peceneaga-Camena) generează cutremure mici până la moderate (un singur eveniment de magnitudinea de peste 5 ani a fost raportată în timpul secolului XX). Partea de nord a acestei zone, denumită zona seismogenă MO, se suprapune parțial pe zona arcului Carpaților Orientali la suprafață și, de asemenea se suprapune pe zona intermediară VNI prezentă în adâncime (fig. 2).

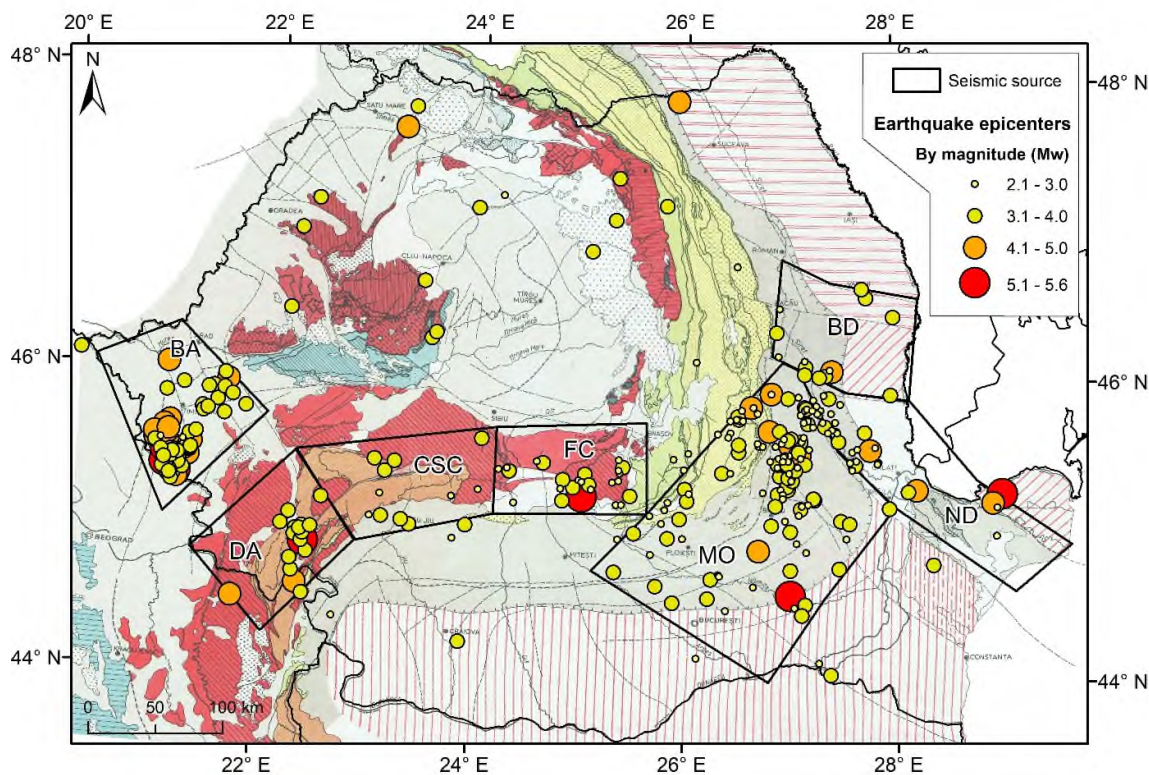


Figura 2. Cutremurile crustale cu mecanism în perioada 1952- 2012 pe fondul hărții tectonice după Săndulescu 1984.

## 2.2. Orogenul Nord Dobrogean (ND) și Depresiunea Bârlad (BD)- *zonele seismice ND și BD*

Orogenul Nord Dobrogean (ND) și Depresiunea Bârlad (BD) sunt reprezentate inițial ca zone seismogene separate (Radulian et al., 2000). Totuși, din punct de vedere tectonic, aceștia aparțin aceleiași unități (platforma scitică), astfel încât acestea pot fi eventual combinate într-o singură zonă (Radulian et al., 2018).

În Depresiunea Bârlad (BD) au avut loc unele cutremure moderate cu  $M_w \leq 5.6$ . Falia Trotus și sateliții săi joacă un rol principal în seismicitatea zonei.

Spre SE, o altă zonă seismogenică este situată la granița Depresiunii Predobrogeane cu Orogenul Nord Dobrogean (ND). Seismicitatea și soluțiile mecanismelor focale sunt destul de asemănătoare cu depresiunea Bârlad: un regim de falie extensivă și evenimente cu magnitudine moderată ( $M_w \leq 5.3$ ). Majoritatea evenimentelor sunt grupate de-a lungul faliei Sfântu Gheorghe (Bala et al., 2015).

## 2.3. Zonele seismice ale Carpaților Meridionali: FC; CSC; DA și zona Banat zone - BA

Carpații Meridionali, spre deosebire de partea de nord a Carpaților Orientali, par a fi activi seismic pe toată lungimea lanțului montan, din vecinătatea cu zona Vrancea spre est (FC) și spre râul Dunărea spre sud-est.

Cele mai puternice cutremure crustale din România au avut loc în zona Făgăraș-Câmpulung (FC). Valoarea maximă estimată este  $M_w = 6.5$ . Ultimul eveniment major a avut loc în 26 ianuarie 1916 cu  $M_w = 6.4$ . Un eveniment mai recent la 12 aprilie 1969 a avut  $M_w = 5.2$  și a fost urmat de aproximativ 500 de replici.

Cutremurele care au avut loc în zona sudică ar putea fi generate pe fracturile hercinice vechi NE și pe fracturile alpine mai tinere (Cornea și Lazarescu, 1980), în timp ce seismicitatea din zona

de nord ar putea fi conectată la sistemele de defecțiuni care separă flancul de nord Carpații Meridionali din presiunea Transilvaniei.

Spre deosebire de studiile anterioare, în care numai sectoarele est (FC) și vest (DA) au fost considerate ca fiind zone seismogene, am adăugat segmentul mijlociu (segmentul central al Carpaților Meridionali - CSC) ca zonă seismogenică (Figura 2). Acest segment umple zona dintre FC și DA, între râul Olt și zona de îndoire bruscă spre SW a centurii Carpaților. Activitatea seismică după 2000 (Radulian et al., 2014; Plăcintă et al., 2016) confirmă capacitatea acestui segment de a genera cutremure semnificative.

### 3. Alcatuirea unei baze de date cu mecanismele de cutremure care se găsesc la nivel crustal în aceste zone tectonice.

#### 3.1. Revizuirea catalogului de mecanisme

Catalogul (vezi Appendix 1) conține 250 de evenimente care au avut loc în crustă (la adâncimi  $h < 50$  km) și 416 evenimente care au avut loc la adâncimi intermediare ( $50 < h < 201$  km). Majoritatea soluțiilor planelor de falie au fost calculate utilizând primele polarități ale undelor P înregistrate de stațiile seismice din România, completate uneori cu polarități înregistrate la stațiile din țările învecinate. Toate informațiile valoroase au fost scoase din documentele publicate sau din rapoartele interne ale Institutului Național pentru Fizica Pământului și au fost integrate în catalogul rezultat.

Sunt disponibile mai multe cataloage care acoperă parțial zona de interes și intervalul de timp considerat: RAD02 (Radulian et al., 2002), TOT02 (Toth și colab., 2002), OR08 (Oros și colab., 2008) Sandu și Zaichenko, 2008) și RAD18 (Radulian et al., 2018). Oferim în Tabelul 1 schițele conținutului acestor cataloage. Pentru a ajunge la datele de catalog originale, ar trebui investigate referințele menționate în aceste lucrări. Uneori, o citare ramificată ar trebui urmată pentru a ajunge la informațiile sursă (de exemplu, citarea lui Gerner (1995) în RAD02, care la rândul său citează lucrările originale care au efectuat calculul mecanismului focal).

**Tabelul 1.** Sursele primare ale datelor din catalog

Catalog	Time interval	No. events in The original catalog	No. of selected events in REFMC	
			$h \leq 50$ km	$h > 50$ km
<b>RAD02</b> Radulian et al., 2002	1929 - 1997	526	130	387
<b>TOT02</b> Toth et al., 2002	1928 - 1998	190	7	2
<b>OR08</b> Oros et al., 2008	1959 - 2006	140	94	0
<b>SAZ08</b> Sandu and Zaichenko, 2008	1967 - 2006	282	0	6
<b>RAD18</b> Radulian et al., 2018	1998 - 2012	349	15	29
<b>ISC</b> ISC, 2015	1940 - 2000	19+87	6	11

Catalogul REFMC urmărește îndeaproape catalogul RAD02 pentru intervalul 1929 - 1997, completat cu datele din catalogul TOT02, OR08 și SAZ08. Catalogul TOT02 cuprinde 190 de evenimente înregistrate între 1928 și 1998 în întreaga regiune panonică (44.0-50.00N; 13.0-28.00E). Autorii catalogului TOT02 au obținut datele de la Gerner, 1995 pentru intervalul 1928 - 1979, în mod similar cu Radulian et al. (2002), precum și de la Gerner și colab. (1999) pentru intervalul de timp 1980 - 1993 și de la Tóth et al. (1999), pentru intervalul 1995-1998. TOT02 se suprapune cu RAD02, cu excepția a două evenimente care au avut loc în nord-vestul României (Maramureș) în 1979 (8 și

30 martie). Celelalte cutremure aparținând teritoriului României au soluții de mecanism asemănătoare, așa cum se așteaptă, deoarece au aceeași sursă (Gerner, 1995). Cu toate acestea, 8 evenimente au fost introduse cu erori în RAD02, deci am adoptat soluțiile din TOT02 pentru catalogul prezentat – REFMC (Radulian et al., 2018b).

Catalogul SAZ08 a fost calculat pentru intervalul 1967-2006 pentru aria geografică delimitată de lat.  $44^{\circ}$  –  $50^{\circ}$  lat.N și  $24^{\circ}$  –  $30^{\circ}$  long.E. Deoarece autorii au folosit polaritățile undelor P raportate în buletinul ISC ca date primare, soluțiile planului de eroare sunt disponibile numai pentru evenimente mai mari (adică,  $M_w > 3,6$ ). Pentru intervalul 1929-1997, doar 5 evenimente cu mecanism focal (toate din sursa de adâncime intermediară Vrancea) diferă în SAN08 comparativ cu RAD02. Pentru celelalte evenimente comune am preferat soluțiile de mecanism cu numărul cel mai mic de polarități inconsistente.

Catalogul REFMC prezentat mai sus, cuprinde mecanisme din perioada 1952 -2000 și a fost trimis la publicare în lucrarea : Revised Catalog of Earthquake Mechanisms for the events occurred in Romania until the end of XX century – REFMC, autori M. Radulian, A. Bala, L. Ardeleanu, D. Toma-Danila, L. Petrescu, E. POPESCU. Acest catalog a fost completat cu cutremure crustale preluate din alta lucrare Radulian et. al., 2018, pentru perioada 2000-2012.

#### 4. Comparatie între caracteristicile mecanismelor crustale și direcțiile preponderente ale faliilor din zonă.

##### 4.1.Mecanismele de faliere ale cutremurelor crustale grupate pe zone seismice

Zonele seismogene sunt reprezentate ca zone poligonale cu potențial de generare a cutremurelor de dimensiuni caracteristice și cu o frecvență specifică în timp. Pentru România s-au propus mai multe configurații de zone seismogenice, pornind de la două abordări: distribuția geografică (Radu et al., 1980; Constantinescu și Mârza, 1980) și distribuția seismo-geotectonică (Radulian et al., 2000; Radulian et al. , 2002 și actualizări succesive, cum ar fi Pavel et al., 2016). În acest raport se face o prezentare a acestor zone seismogene în așa fel încât ele să poată fi discutate în funcție de zonele tectonice pe care le acopera parțial.

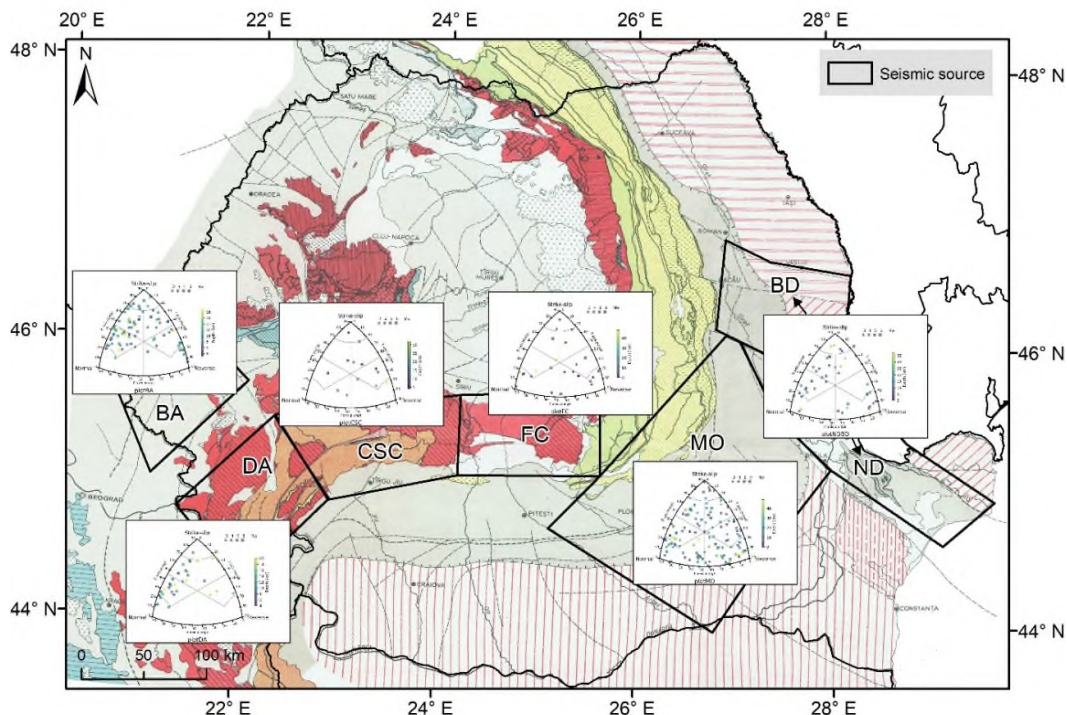


Figura 3. Diagramele ternare PBT pe fondul hartii tectonice Săndulescu 1984.

## 5. Determinarea axelor de stress orizontale pe grupe de cutremure crustale

O estimare mai bună a orientării tectonice a stresului poate fi obținută atunci când este disponibil un set de mecanisme focale determinate pentru o regiune cu un domeniu de stres regional omogen. Aceste mecanisme combinate determină orientările principalelor axe de stres printr-o inversare formală. Stresul formal inversarea mai multor FMS îmbunătățește calitatea derivării stresului, dar este legată de două principale ipoteze:

(1) Se presupune că FMS ales se află într-o regiune cu un câmp uniform de stres care este invariant în spațiu și timp. Tehnica de binning (grupare) poate fi fie făcută în urma unor ipoteze pentru a demonstra, de ex. rotații ale axelor de stress, sau să fie făcută prin grupările de date. Hardebeck și Michael (2004) dau o discuție detaliată cu privire la diferențele dintre tehnicile de binare. Pentru a depăși subiectivitatea Townsend manuală și Zoback (2006) au folosit un algoritm non-ierarhic de grupare pentru a grupa FMS în Japonia pentru o inversare de stres.

(2) Se presupune că direcția de alunecare a cutremurelor are loc în direcția forfecării maxime stres (ipoteza lui Wallace-Bott, Bott, 1959).

Pentru România a fost folosită o tehnica de grupare care presupune o grupare după un criteriu de apropiere a epicentrelor astfel încât să rezulte cel puțin 20 evenimente în fiecare grupare, după modelul din Figura 4. A fost adoptat acest model deoarece nu există indicații preliminare asupra orientării stresului crustal în zona.

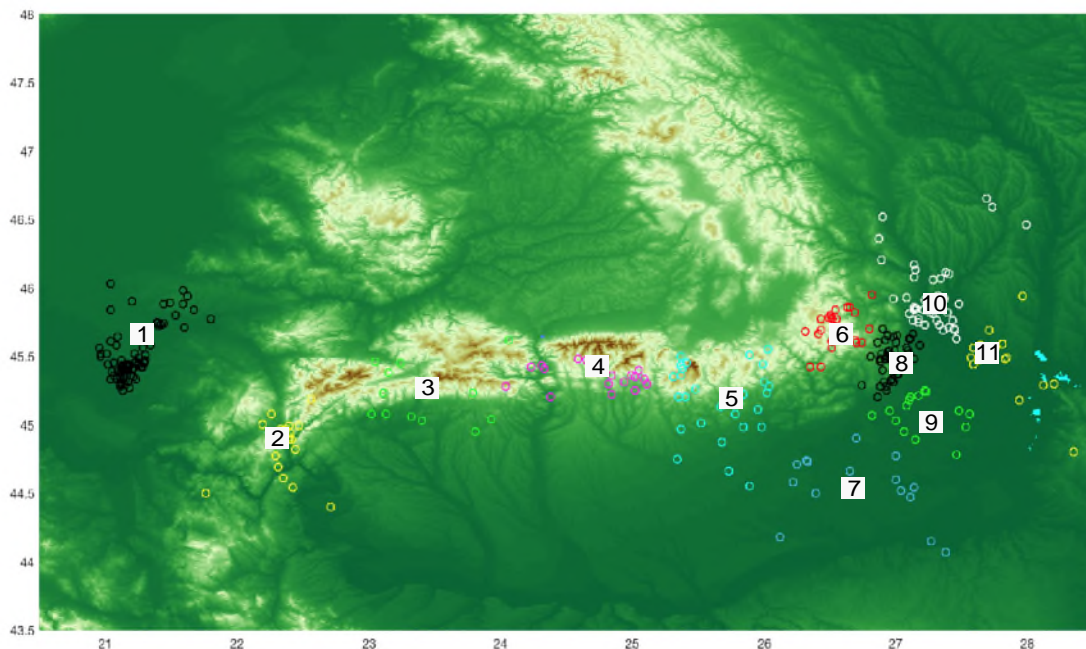


Figura 4. Grupare a cutremurelor cu mecanism în 11 zone în partea de sud a României.

Pentru prelucrarea mecanismelor și determinarea stresului orizontal pentru o grupare de cutremure a fost utilizat STRESSINVERSE care este un pachet software în Matlab, ce folosește o metodă iterativă de inversare a axelor de stress și orientarea faliilor din mecanisme focale. Inversia este bazată pe metoda Michael (1984; 1987) în care este încorporat un criteriu de instabilitate propus de Lund & Slunga (1999). Detalii despre această metodă și criterii de acuratețe sunt publicate de Vavryčuk (2014).

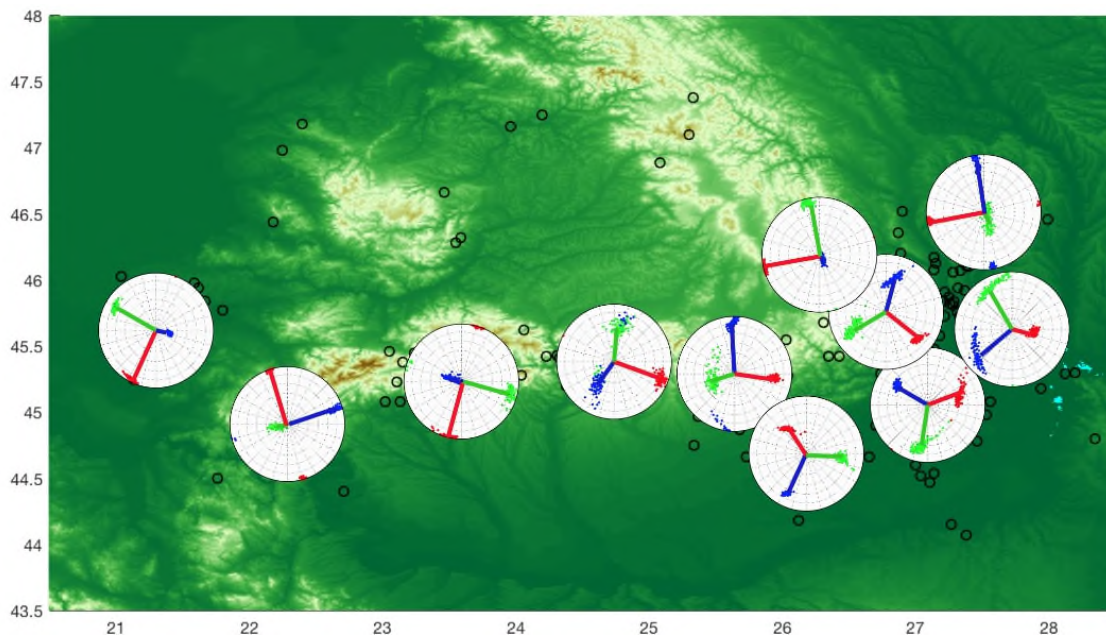


Figura 5. Axele de stress orizontale S1, S2 si S3 pentru partea de sud a Romaniei.  
S1 – rosu; S2 – albastru ; S3 – verde.

**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).

Pe baza rezultatelor etapei **V/2018** au fost prezentate și/sau publicate urmatoarele lucrari.

1. In 2018 a aparut in revista *Romanian Reports in Physics*, articolul:  
EARTHQUAKE MECHANISM IN THE VRANCEA SUBCRUSTAL SOURCE AND IN THE ADJACENT CRUSTAL SEISMOGENIC ZONES OF THE SOUTHEASTERN ROMANIA  
AUTORI : E. POPESCU, M. RADULIAN, A. BĂLĂ, D. TOMA-DĂNILA
2. Un alt articol aparut in 2018 :  
CRUSTAL MODELS ASSESSMENT IN WESTERN PART OF ROMANIA EMPLOYING ACTIVE SEISMIC AND SEISMOLOGIC METHODS  
A. BALA, D. TOMA-DANILA.
3. A fost trimisa pentru publicare un articol ce cuprinde si o baza de date a mecanismelor de cutremure in perioada 1952 – 2000, la revista *Romanian Reports in Physics*, 2018.
4. Pe baza rezultatelor obtinute in faza V, 2018 a fost prezentata lucrarea la ESC 2018, Malta, 2 – 7 sept. 2018:

Focal mechanism and resulting horizontal stress in the Earth crust of Romania, Andrei BALA, Laura Petrescu, Mircea RADULIAN, Dragoș TOMA-DANILA

**Au fost îndeplinite toate obiectivele etapei V /2018 a proiectului NUCLEU PN**

**18 15 01 01/2018.**

**Responsabil faza V/2018**

**Dr. Ing. Andrei Bala, CS I**