

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

**De acord,**  
**DIRECTOR GENERAL**  
**Dr.ing.Constantin IONESCU**

**Avizat,**  
**DIRECTOR DE PROGRAM**  
**Prof.Gheorghe MĂRMUREANU**

## **RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI**

**Contractul nr.: 21N/2016**

**Proiectul PN 16 35 01 05: Campul de tensiune activ si regimul tectonic din regiunile Intra-Carpatice si zonele adiacente. Constrangeri realiste pentru definirea surselor seismogene**

**Faza 2 Modele ale campului de tensiuni activ si ale regimului tectonic si definirea surselor seismogene**

**Termen: 02 Mai 2017**

1. Obiectivul proiectului: Obiectivul principal al proiectului consta in determinarea campului de tensiune activ si a regimului tectonic in spatiul Intra-Carpatic si modelarea seismotectonica a regiunii pentru definirea realista a Surselor Seismogene Independente.
2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:
  - obtinerea unui Catalog modern, robust al Solutiilor Mecanismelor in Focar pentru cutremurele crustale produse in regiunea studiata;
  - imbunatatirea parametrilor focali ai cutremurelor majore istorice si instrumentale,
  - determinarea parametrilor principali ai tensorului tensiune;
  - modelarea 2D a campului de tensiuni active si a regimului tectonic;
  - discriminarea faliilor/structurilor geologice reactivate seismic si cu potential de reactivare sub actiunea campului de tensiune activ
  - definirea surselor Seismogene.
3. Obiectivul fazei: Investigarea campului de tensiuni active si a regimului tectonic pe baza inversiei formale a solutiilor mecanismelor focale si metodologie de definire a surselor seismogene din regiunea Intra - Carpatica de pe teritoriul Romaniei.
4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:
  - determinarea tensorului tensiune regional si pentru zone particulare prin inversia formala a solutiilor mecanismelor in focar;
  - modelarea 2D a campului de tensiune (tensiune orizontala, regim de tensiune, regim tectonic);
  - identificarea structurilor cu potential seismogen;

- metodologie pentru definirea realista a surselor seismogene.

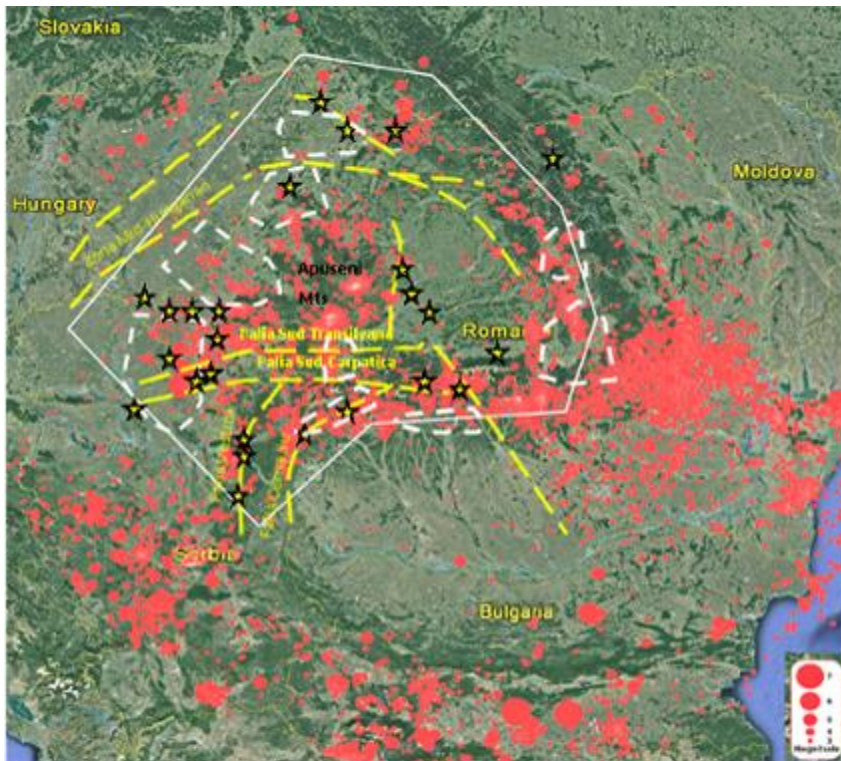
##### 5. Rezumatul fazei:

Tensiunile tectonice din litosfera terestra reprezinta elementul cheie in intelegerea proceselor geodinamice in general si a seismogenezei in special, fiind observate in timpul eliberarii lor prin cutremure tectonice. Campul de tensiuni poate fi studiat in zone active seismic prin intermediul unor indicatori de tensiune, care pot fi obtinuti prin i) metode geologice si geofizice (ex. masuratori in situ ale alunecarilor pe falii, tensiunile in sonde prin fracturare hidraulica) si/sau ii) prin metode seismologice (solutiile mecanismelor in focar). Starea de tensiune este descrisa de regula prin 9 componente ale tensorului tensiune  $\sigma_{ij}$ , dar datorita proprietatilor de simetrie ale acestuia ( $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$  for  $i \neq j$ ) doar 6 componente sunt independente una fata de celelalte (tensorul redus de tensiune): trei tensiuni principale,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ) pe baza carora se pot estima cele doua tensiuni orizontale,  $S_{Hmax}$  si  $S_{Hmin}$ , si raportul aparent al tensiunilor R. Solutiile mecanismelor in focar ofera prin axele cinematice P, T si B informatii asupra tensiunilor principale desi nu sunt coincidente cu cele ale tensiunilor ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  si  $\sigma_3$ ) in mediul geologic heterogen si anizotrop, insa exista restrictii si constrangeri care le eficientizeaza inversia lor: 1)  $\sigma_1$  este situata intotdeauna in cadranul dilatational al mecanismelor focale, 2) cuplul dublu de forte este simetric, 3) geometria celor 2 plane de falie si coeficientul de forfecare exprima relatia mecanismelor focale cu tensiunile crustale. Obtinerea tensorului stress din diagrama de radiatie a undelor P a mecanismelor focale nu permite insa si selectarea planului de falie real, fiind necesare date privind tensorii de nivele superioare, distributia replicilor, tectonica, amplitudinea azimutala a formelor de unda, etc.

Cea mai buna estimare a orientarii tensiunilor tectonice la nivelul stratului seismogen poate fi obtinuta prin *inversia formală* a unui set de mecanisme focale dispuse concentrat in zone bine definite situate intr-un spatiu cu un camp de tensiune regional considerat omogen in spatiu si timp si respectand presupunerea ca *directia de alunecare pe falia seismica coincide cu directia tensiunii de forfecare maxima* (ipoteza Wallace-Bott). Cele mai folosite metode de inversie sunt: 1) metoda componentei alunecare a tensiunii de forfecare a lui Angelier (2002), 2) metoda lineara a lui Michael (1987), 3) metoda de cercetare in retea de tip grila a lui Gephart si Forsyth (1984).

***Estimarea tensorului tensiune si a regimului de stress in regiunea Intra-Carpatica*** In regiunea Intra-Carpatica starea de tensiuni este caracteristica inversiunii bazinale Pliocen-Cuaternara. Ea este controlata de interactiunea dintre fortele de margine de placa si cele de tip intraplaca, respectiv rotirea si impingerea Micoplacii Adria spre N-NE in combinatie cu i) fortele isostatice si flexurarea litosferica de la contactul Orogenului Carpatic cu ariile depresionare precum si cu ii) sursele locale de tensiune. In regiune se cunosc 5 zone seismogene: Banat, Dunare, Maramures, Transilvania, Fagaras (Fig.2)(Radulian et al., 2000).

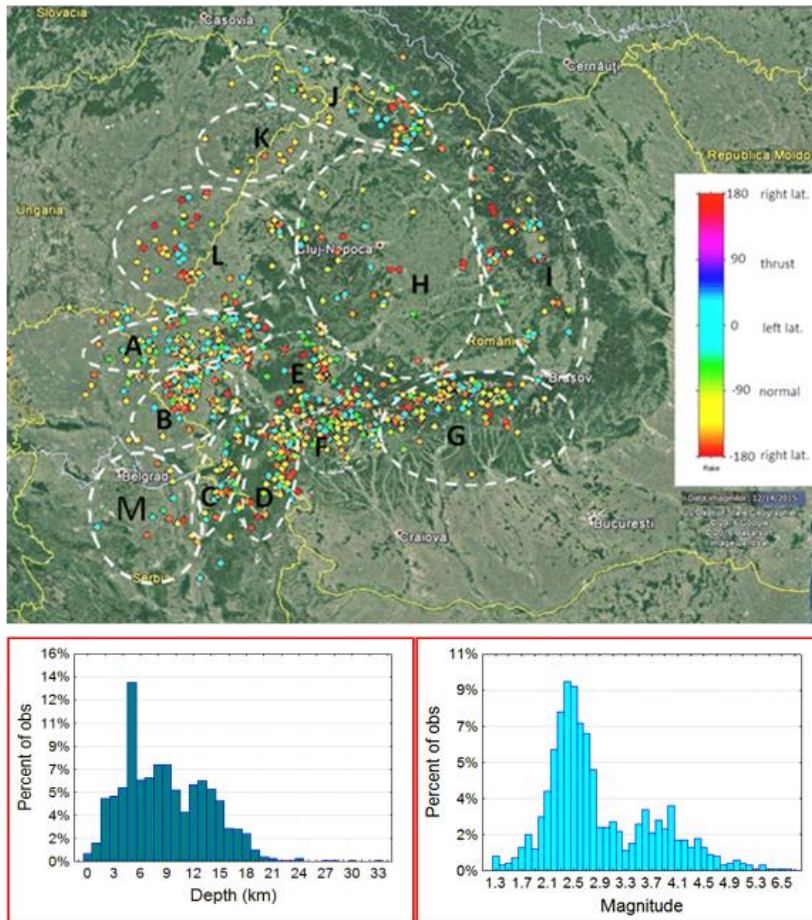
In aceasta faza proiectul valorifica o baza de date unica, obtinuta in faza anterioara (Oros et al. 2016), care asigura pentru prima data in tara noastra un nivel de calitate de exceptie a mecanismelor focale si o rezolutie optima pentru favorizand astfel eliminarea neajunsurilor din studiile publicate pana in prezent. Intr-o prima etapa s-a analizat distributia caracteristicilor de falie folosind diagramele ternare si diagramele circulare ale axelor cinematice P, T si B. Diagramele ternare Frohlich arata un caracter puternic heterogen al campului de tensiuni si al regimului tectonic, la nivel regional local (Figura 2 si 3). Cu toate acestea este evidenta directia NE-SW predominanta a axelor P paralela cu directia de model regional (Bada et a., 2007), precum si azimutul SW, orientat in directia zonei coliziunii placilor Africana si Europeana si urmarind traiectoria deplasarii Micoplacii Adria inspre Bazinul Pannonic. Orientarea axei T este NNW-SSE aproximativ perpendiculara pe



**Figura 1.** Schița seismotectonică simplificată a regiunii Intra-Carpatice. Cercurile roșii pline, seisme cu  $M_w > 2.5$ ; stelute galbene, seisme cu  $M_w > 2.0$  sau 102VI EMS ([www.infp.ro](http://www.infp.ro); <http://www.isc.ac.uk>); poligonul alb, limitele regiunii Intra-Carpatice; poligoanele albe-linii întrerupte, zone cu structuri neotectonice (ex. grabene, bazine de sedimentare, etc.).

principalele falii majore din regiune (Figura 1) însă paralele sau oblice sub unghi mic față de vectorii geodezici (Figura 6). Căderile celor două axe arată cu claritate existența unui regim tectonic dominat de falii normale și de decroșare cu largi componente normale. Excepție fac zonele Crisana și Bekes-Zarand în care falierea de decroșare este dominantă. Inversia formală s-a efectuat cu 2 metode: Metoda Diedrului Drept care este adesea combinată eficient cu metoda axelor P, B și T rezultatele fiind comparabile (Figura

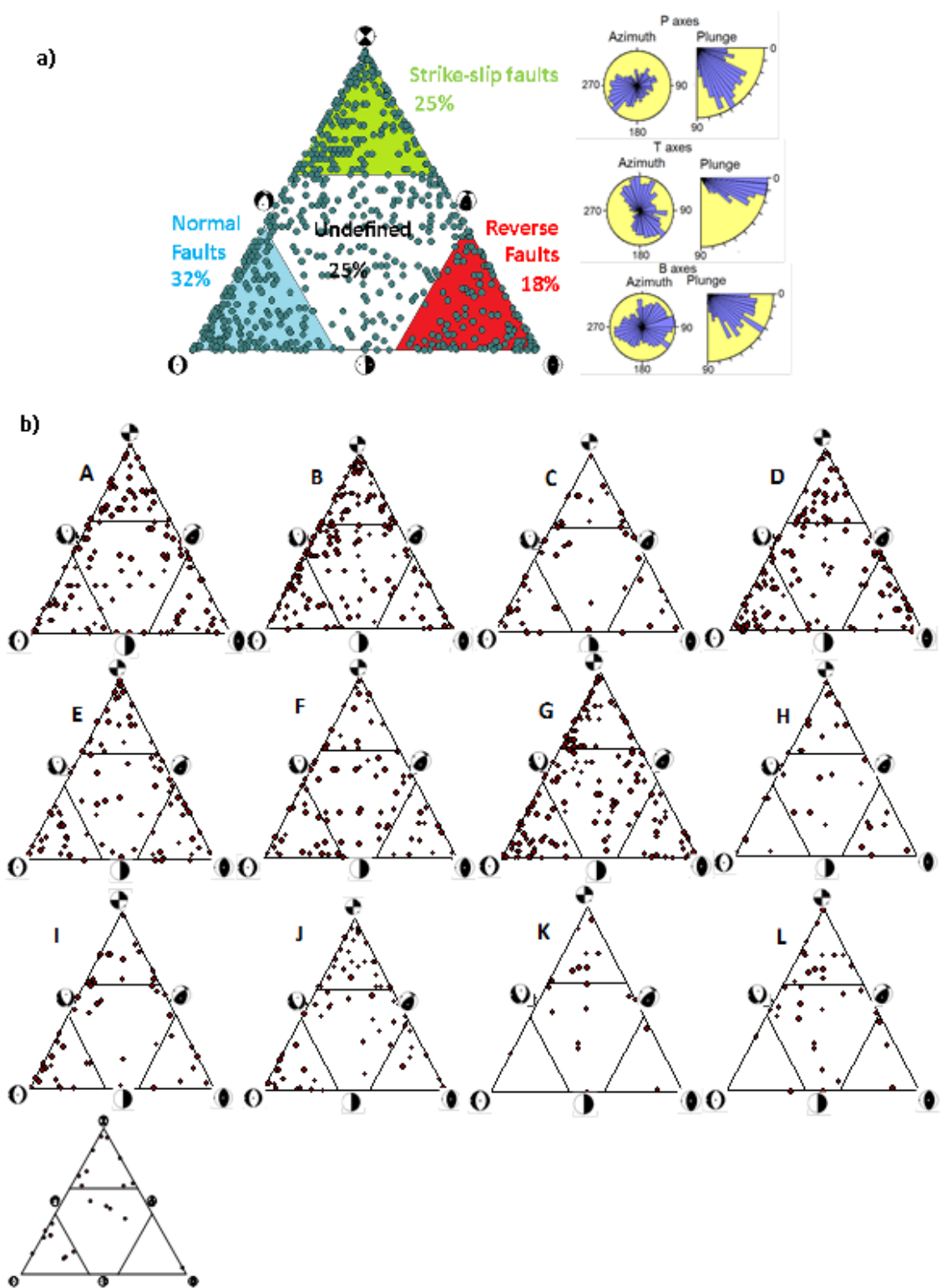
4) și Metoda de Optimizare Rotatională (Delvaux și Sperner (2003)). Rezultatele obținute prin inversie sunt reprezentate pe hemisfera inferioară a rețelei Wulf, grafică incluzând simboluri și diagrame pentru cartări și analize (Figura 4 și 5). Se remarcă diferențele notabile între soluțiile obținute prin cele două metode, Diedrul drept și media orientării axelor PTB pe de o parte și între soluțiile inițiale obținute cu aceste două metode și cele rezultate în urma optimizării. În scopul determinării regimului tectonic și de tensiune s-a calculat și indexul specific  $R'$ . Întrucât datele obținute din mecanisme focale sunt inconsistente pentru întreaga regiune și scopul proiectului este acela de a obține constrângeri obiective pentru definirea surselor seismogene întregul set de date a fost împărțit în sub-seturi corespunzătoare surselor seismogene definite în literatură. Au fost efectuate inversiuni și pentru zone de dimensiuni mai mici localizate în vestul și sud-vestul regiunii (Figura 2) în scopul completării și finalizării unor studii începute în proiecte anterioare. La nivel regional s-au obținut:  $\sigma_1 = az.234/cădere45$ ,  $\sigma_2 = 72/44$  și  $\sigma_3 = 333/9$ ,  $R = 0.48$  ( $R' = 0.48$ ) și  $SH_{max} = 60^\circ \pm 56^\circ / SH_{min} = 15^\circ$ . Acești parametri descriu un regim de tensiuni oblic - extensiv, parțial corelabil cu modelele publicate (ex. Bada et al., 2007). Incertitudinea mare cu care a fost calculat  $SH_{max}$  ( $\pm 56^\circ$ ) se traduce în primul rând prin heterogenitatea înaltă a câmpului regional de tensiuni active imposibil de definit cu tensor de tensiune unic. Rezultatele obținute pentru fiecare zonă seismogenă sunt redată în Figura 5 și 6. Variabilitatea câmpului de tensiuni se face remarcabilă și în ceea ce privește regimul tectonic și de tensiune estimate pentru fiecare zonă/subzonă investigată: i) regim predominant compresiv cu falii de decroșare și inverse în zonele Maramures, Carpații Orientali și bazinul Hateg-Petrosani, regim care devine extensiv sau transtensiv cu falii preponderent normale în Carpații Meridionali; ii) în vestul țării se



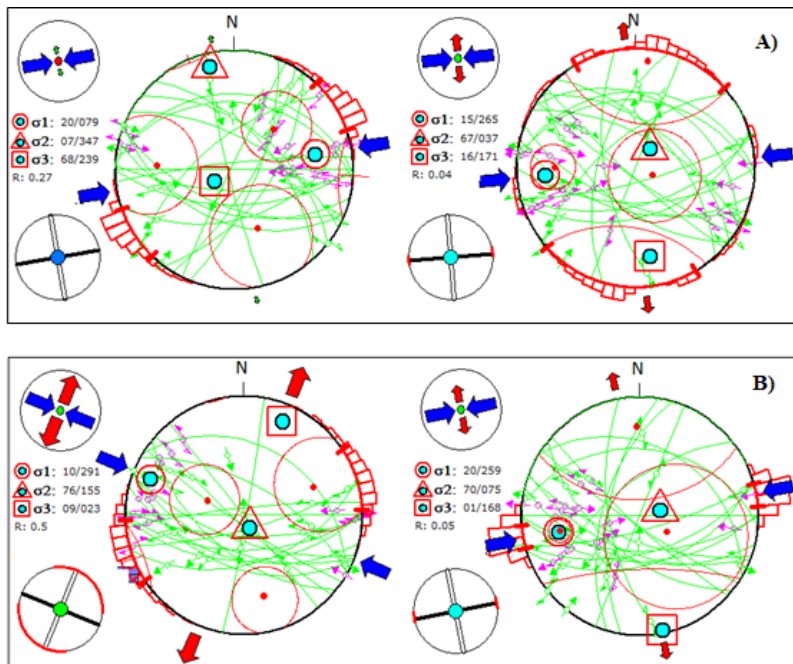
**Figura 2.** Sus: Distribuția cutremurelor de pământ din Regiunea Intra-Carpatică pentru care s-au determinat soluțiile ale mecanismelor în focar (după Oros et al., 2016). Zonele pentru care s-au investigat distribuțiile tipurilor de mecanisme focale: A-Banat Nord, B-Banat Central, C-Dunare Vest, D-Dunare Est, E-Hateg, F-Petrosani, G-Fagaras, H-Bazinul Transilvaniei, I-Carpatii Orientali, J-Maramures, K-Crisan, L-Bazinul Bekes-Zarand, M-Serbia. Jos: Distribuțiile statistice ale adâncimilor focale și magnitudinii Mw.

Fagaras), oblicitatea acestora scoate în evidență existența forfecărilor simple în regim transtensiv cu falieri de decroșare oblic normale (sud - vestul regiunii) sau inverse (parțial zona Maramures). Oblicitatea și cvasi-ortogonalitatea parametrilor tensiune-deformație releva de asemenea existența unor posibile zone de heterogenitate crustală pe adâncime cu detașări de strate geologice în lungul unor falii reactivăte în regim pur extensiv/falieri predominant normale (zonele Banat, Dunare). Regimul de tensiune și regimul tectonic sunt caracteristici care poartă amprenta evoluției neotectonice a regiunii și pot fi indicatori reprezentativi pentru zone seismogene specifice sau/si pentru zone cu particularități tectonice specifice unor tranziții 1) de la zone cu decroșări în regim transtensiv (exemplu Zona Seismogena Banat) la zone cu falieri normale în regim pur extensiv (exemplu zonele Moldova Noua-Oravita și Mehadia-Baile Herculane din Carpatii Sudici) sau 2) de la falieri de decroșare în regim compresiv (exemplu în partea de Nord-Vest și Nord a regiunii de la contactul dintre Blocurile Alpaca și Tisa - Dacia) la falieri normale în regim transtensiv (exemplu Bazinul Transilvaniei). Modelele câmpului de tensiuni din regiunea studiată calculate cu datele din baza de date a proiectului WSMaP (<http://www.world-stress-map.org/>) și cu cele obținute în prima fază a proiectului din Figura 7 semnificativ diferite, ceea ce se poate explica prin: 1) modelul WWW a fost calculat folosind toți indicatorii de tensiune disponibili în baza de date

întâlnește un regim transtensiv cu falieri majoritare de decroșare cu componente largi normale și secundar falieri normale; iii) acest regim de tranziție trece spre Nord în regimul pur compresiv (zonele Bekes-Zarand, Crisana și Maramures. Heterogenitatea câmpului de tensiuni la nivel regional și local este evidențiată și de relația dintre tensiunile orizontale și deformația crustală recentă modelată prin metode geodezice. Această relație este marcată de paralelism, oblicitate și ortogonalitate între direcțiile axelor principale ale tensorului tensiune și vectorii de viteză GPS (Figura 6). Dacă paralelismul celor doi parametri reflectă forfecări pure (ex. falieri normale în regim extensiv parțial în zona



**Figura 3.** a) Diagrama Frohlich pentru 950 de mecanisme focale din cele 1132 determinate in Faza 1 a proiectului (exclusiv solutiile de calitate A=60%, B=24% si C=12%). Regimul de tensiuni regional este transtensiv (strike-slip cu o larga componenta extensiva). b) Diagramamele Frohlich pentru zonele definite in Figura 2)



**Figura 4.** Exemple de inversiune formală a soluțiilor mecanismelor focale. Diagramele circulare mari - statistica distribuțiilor deviației standard, intervalul de încredere 95%, cele trei axe principale ale tensorului tensiune; liniile verzi sunt planele de falie selectate în contextul fiecărui tensor de tensiune calculat; diagramele circulare mici - sus, orientarea axelor principale ale tensorului tensiune ( $\sigma_1$ , roșu,  $\sigma_2$  și verde  $\sigma_3$ ), jos - SHmax (linia groasă neagră) și Shmin (bara albă), cercul central simbolizează prin culori specifice regimul de tensiune ca în Figura 6. A) Metoda Diedrului Drept. B) Metoda axelor PTB.

trebuie investigate la scări mici pentru a scoate în evidență detalii privind seismogeneza și impactul asupra evaluării hazardului seismic. Pentru partea de Vest și Sud Vest a țării, inclusiv Munții Apuseni s-au efectuat astfel de investigații în actuala fază a proiectului, rezultatele obținute susținând aplicarea lor și în celelalte zone seismogene. Mecanismele focale teoretice (Figura 6) sunt corelate pozitiv mecanismele focale ale cutremurelor cu  $M_w \geq 4.0$  produse în fiecare zonă seismogenă și tectonică locală constituind principalul factor de validare a metodologiei propuse pentru identificarea și delimitarea structurilor geologice care au potențial seismogen. Heterogenitatea ridicată a câmpului de tensiune, a regimului de stress și tectonic se poate traduce și printr-un spectru larg de mecanisme focale etalon și zone de multi-tensiune. Sintetizând informația din Figura 6 putem spune că: **1)** în zona Banat structurile orientate NE-SV până la EV, verticale sau puternic înclinate (exemplu contactele panzelor de sariaj) sunt cele mai vulnerabile în raport cu SHmax și regimul de tensiune extensiv, fapt confirmat de soluțiile cutremurelor puternice din 1991 (faliere de decroșare,  $M_{max} = 5.5$ ), 1959 (faliere normale,  $M_w = 5.3$ ), 1974 (faliere de decroșare,  $m_w = 5.2$ ); **2)** în Zona Dunare structurile cu potențial seismogen sunt în general reprezentate de sistemele de falii orientate NNE-SSW, orientate mai mult sau mai puțin perpendicular pe axa extensiei Shmin (ex. Falia Cerna Jiu, sistemul Faliilor Oravita-Moldova nouă) și înclinate la un unghi Anderson ( $\leq 60^\circ$ ) favorabil faliilor predominant normale (ex. mecanismele focale ale cutremurelor din 1991,  $M_w = 5.7$  și din 2002,  $M_w = 4.7$ ); **3)** zona Făgăraș situată într-un cadru geotectonic complex plasat într-un câmp de tensiune extensiv se caracterizează prin structuri faliat pe direcții variabile într-un domeniu unghiular larg dar dominate de Faliile Intra-Moesica, Sud Transilvania și sistemul faliilor din D. Brezoi care pot fi reactivat în general ca falii normale sau de decroșare cu o largă componentă normală (exemplu mecanismul cutremurului din 1916,  $M_w = 6.4$ ); **4)** zona Transilvania cu un nivel foarte scăzut

a proiectului până în 2016, însă cu predilecție indicatori geologici și geofizici de suprafață și din zona de curbura a Carpaților și din Bazinul Moesic, zone situate în afara regiunii studiate, 2) modelul calculat cu datele obținute în proiect sunt limitate la nivelul regiunii Intra-Carpatice lipsind orice informație din zona extra-Carpatice și reflectă starea de tensiune din interiorul crustei până la adâncimea de 35 km. Aceste diferențe subliniază existența unor variații 3D importante ale stării de tensiune datorate perturbațiilor induse de surse locale de tensiune, variații care

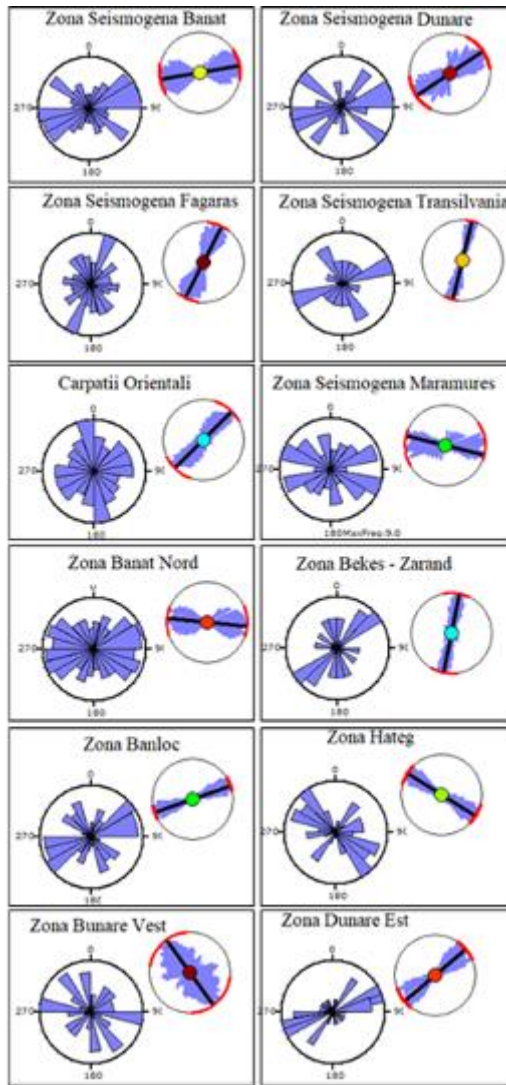


Figura 5. Histogramele circulare pentru SHmax determinate din geometria axelor P, T si B. Dreapta sus in fiecare imagine este SHmax optimizat (linia neagra groasa) si diagrama erorilor de inversiune (segmentul rosu-deviatiia standard). Culoarele din cercurile centrale corespund scariidin Figura 6)

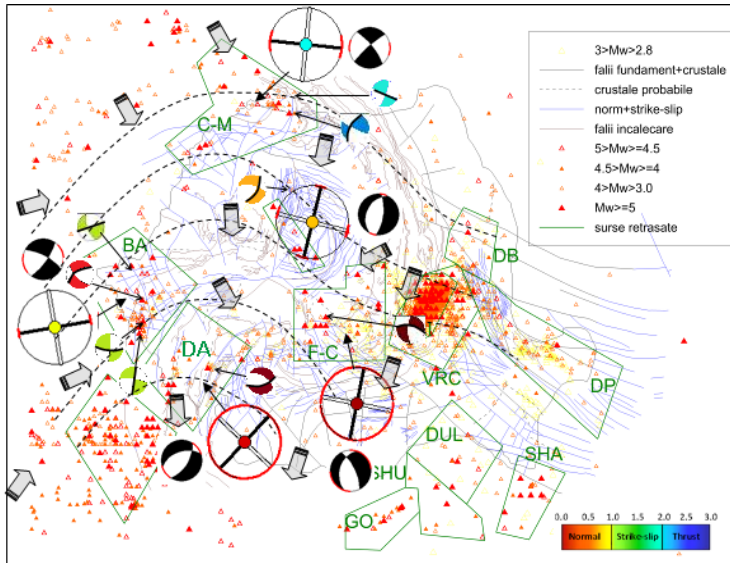
de seismicitate si cu o tectonica casanta complexa in partea centrala si cu elemente de contact cu Orogenul Carpatic (Falia Nord si Sud Transilvana, Falia inversa Puini, fracturile conecatte cu vulvanismul Neogen din Carpatii Orientali) si intersectiile lor este plasata intr-un camp de tensiune in regim transtensiv, cu falieri egal probabile de tip decrosare, oblic normale si normale (ex. mecanismul focal al cutremurului din 1996, Mw=4.0); 5) zona Maramures-Crisana dominata de structuri subsidente (Crisana) si fracturi asociate cu vulcanismul Neogen (Maramures) situate la contactul dintre Microplacile Tisa si Alpaca (zona de forfecare) este dominata de tensiuni transpresive cu falieri de decrosare (mecanismul focal al cutremurului din 2015, Mw=3.8) si inverse dezvoltate pe directii  $\pm$  paralele sau perpendiculare fata de directia lui SHmax (exemplu sistemul Faliei Nord Transilvane, faliile care controleaza grabenele Neogene Galospetreu, Satu-Mare, etc.). Cunoscand in detaliu particularitatile campului detensiune pentru fiecare zona seismogena se pot determina aparent

toate variantele de falieri seismica in acord cu tectonica fiecarei zone seismogene delimitad structurile vulnerabile in raport cu tensorul tensiune. Metodologia a fost aplicata pentru Zona Seismogena Banat rezultatele

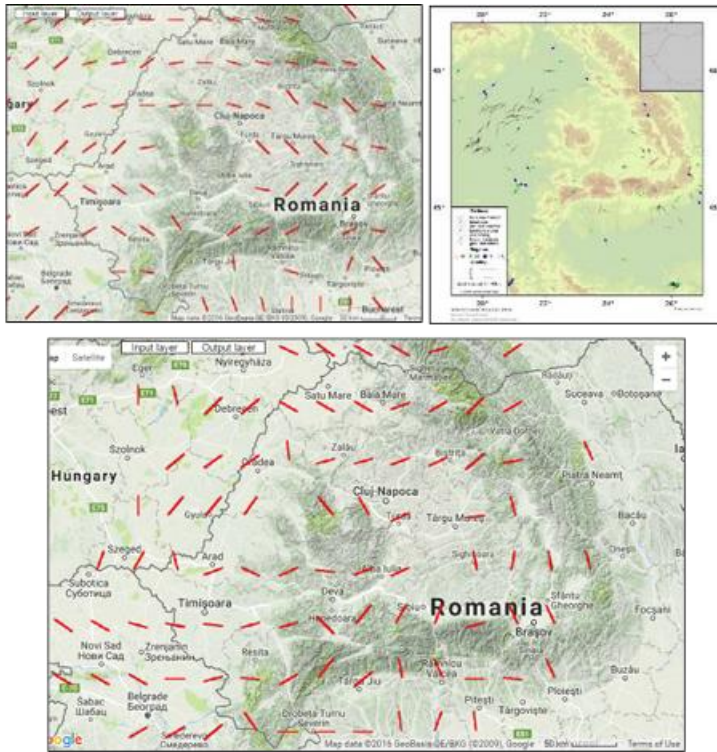
obtinute facand obiectul unor lucrari prezentate la manifestari stiintifice nationale si internationale In Figura 8 este prezentat un extras din harta seismotectonica rezultata in urma investigatiilor efectuate urmand metodologia adoptata.

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

- determinarea tensorului de tensiune redus, a regimului de tensiune si a regimului tectonic prin metode avansate folsind un nou catalog al mecanismelor focale elaborat in prima faza a proiectului.
- model 2D al campului de tensiuni active, regimului de stress si regimului tectonic atat la nivel regional cat si local (zone seismogene)
- metodologie de definire a zonelor seismogene (discriminare realista a structurilor geologice cu potential seismogen).



**Figura 6.** Distribuția tensorului tensiune în regiunea Intra-Carpatică. Simbolul tensorului tensiune - cercurile mari cu axele SHmax (linia neagră groasă continuă) și Shmin (linia subțire dublă) și deviația standard a acestor axe (arcul de cerc cu linie roșie groasă). Cercurile pline colorate din mijlocul simbolurilor tensorului tensiune definesc regimul de tensiune și regimul tectonic conform cu grila de culori din stanga jos a hărții. Mecanismele focale mari (cadrantul extensie negru) sunt mecanisme teoretice optim determinate în funcție de parametri tensorului tensiune; mecanismele focale de dimensiuni mai mici și cu cadrantul tensiunilor colorat conform codului culorilor regimului de tensiune sunt mecanismele reale calculate pentru cutremurele cu Mw  $\geq$  4.0 și considerate reprezentative pentru fiecare zonă seismogenă. C\_M-sursa Crisana-Maramures, BA-sursa Banat, DA-sursa Dunare, F-C-sursa Fagaras. În simbolul mecanismului focal este marcat cu linie neagră groasă falia seismică folosind constrangeri geologice și seismologice. Sagetile gri simbolizează simplist direcțiile mediate ale vectorilor viteza geodezici GPS (după Bada et al., 2007; Nato proiect, 2011; Heidbach et al., 2010). Harta din dreapta jos: modelul uniformizat al câmpului de tensiune, SHmax bazat pe datele din proiect.



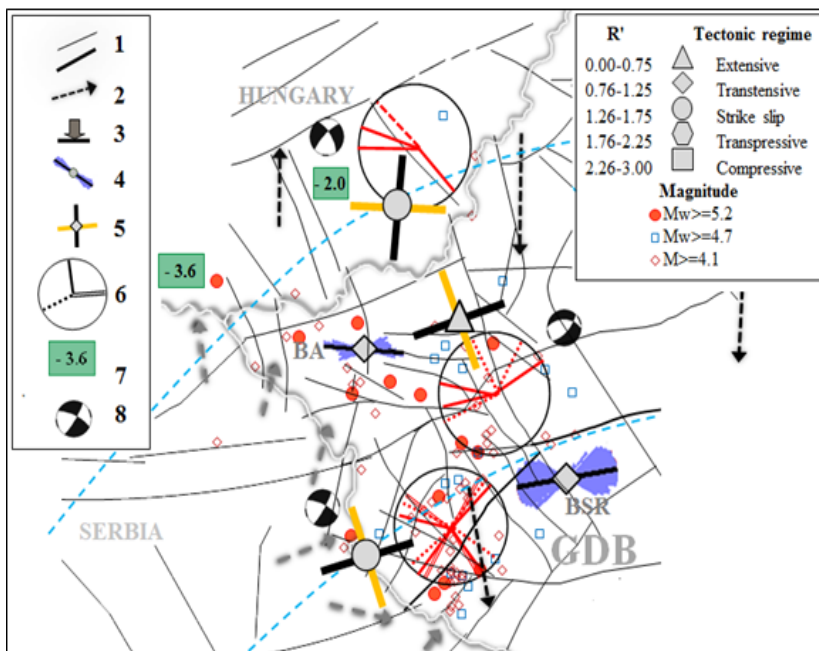
**Figura 7.** Modele ale câmpului de tensiuni din regiunea Intra - Carpatică. Sus: model calculat folosind datele din baza de date ale proiectului World Stress Map (toti indicatorii de tensiune disponibili) prezentate în harta din dreapta (<http://www.world-stress-map.org/>). Jos: model calculat cu datele obținute în proiect (exclusiv soluții ale mecanismelor în focar)

- valorile mari ale incertitudinilor de determinare a lui SHmax arată un grad ridicat de heterogenitate a câmpului de tensiune activ la nivelul zonelor seismogene cunoscute ceea ce impune cu strictete continuarea investigațiilor pentru a decela diferențele reale din starea de tensiune regională și locală și de a evidenția stări de tensiune particulare în spațiul 2D și de a stabili în final impactul asupra seismogenezei.

- ortogonalitatea și oblicitatea observată între SHmax și parametrul de deformare crustală (vectorii viteza GPS) relevă existența unor variații semnificative 3D a câmpului de tensiune ceea ce impune continuarea și detalierea investigațiilor pe secțiuni crustale bine definite pe baza unor criterii seismotectonice și tectonice.

- corelația dintre mecanismele focale teoretice determinate pentru fiecare zonă seismogenă și cele observate pentru cutremure mai puternice ( $M_w \geq 4.0$ ) scoate în evidență eficiența metodei de investigare adoptată în proiect pe de o parte și răspunsul așteptat al structurilor geologice majore vulnerabile într-un câmp de tensiune particular (falii cu geometrie favorabilă și care au potențial seismogen confirmat prin seisme puternice), pe de altă parte, rezultat care impune detalierea viitoare a investigațiilor în această direcție.





**Figura 8.** Schita seismotectonica a Zonei Seismogene Banat (dupa Oros, 2017). GDB-Blocul Geodinamic Geto-Danubian, 1-falii, 2-vectori viteza/deplasare (sageti negre/gri), 3-Coliziune Cuaternara, 4-diagrame circulare pentru SHmax (orientarea medie si limitele variatie azimutale), 5-tensorul tensiune (linia neagra SHMax, linia galbena Shmin) – simbolul mare este pentru intreaga zona, simbolul mic pentru partea de Nord a zonei seismogene, 6-diagrame circulare cu planele de falie compatibile cu tensorul tensiune calculat pentru trei sub-zone cu activitate seismica intensa (falii cu potential seismogen): linia punctata – falie normala, linia continua simpla – falie de decroasare/transcurenta, linia continua dubla – falie inversa, 7-micari verticale recente, simbolurile mecanismelor focale teoretice, linia albastra intrerupta – modelul regional al tensiunii orizontale medii.

- ambiguitatea planelor de falie (separarea faliei seismice de cea auxiliara) din solutiile mecanismelor in focar a fost solutionata prin analiza geometriei acestora in relatie cu tensorul tensiune. Gradul de incertitudine al solutiilor gasite este insa mare ceea ce impune continuarea proiectului prin aplicarea unor tehnici avansate si introducerea unor constrangeri suplimentare, respectiv informatii obtinute din analiza formelor de unda digitale de inalta calitate (amplitudini, continut de frecvente).

- se impune extinderea procedurii de determinare a solutiilor mecanismelor in focar si in cazul cutremurelor mai mici si a

cutremurelor istorice pentru care exista seismograme analogice digitizate si pentru care bugetul de timp al proiectului nu a fost suficient in vederea completarii catalogului elaborat in faza anterioara, catalog necesar pentru a detalia in viitor investigatiile campului de tensiuni active in directia sugerata de rezultatele prezentate in paragrafele anterioare si pentru a valida metodologia aplicata pentru definirea surselor seismogene.

- se impune extinderea investigatiilor in zona Carpatilor Estici la contactul cu platforma Est-Europeană si Platforma Moesica si Scintica pentru a aduce lamuriri cu privire la starea de tensiuni din litosfera superioara si influenta acesteia in procesele de seismogeneza din zona de interferenta cu unitatile geotectonice ale regiunii Intra-Carpatice, precum si pentru a identifica eventuale influente ale fortelor tectonice din zona seismogena adanca Vrancea asupra campului de tensiuni crustale.

- pentru imbunatatirea si eficientizarea tehnicii de determinare a tensorului tensiune ca element definitoriu in evaluarea potentialului seismogen al structurilor geologice specific unor zone particulare (ex. zone cu seismicitate istorica sau zone cu tectonica favorabila reactivarii unor structuri geologice) se impune introducerea unor metode mai complexe de investigare a campurilor de tensiune heterogene depistate in cadrul proiectului (exemplu: inversia multipla a tensorului tensiune, aplicarea unor algoritmi de degrupare - declustering-non-ierarhica, modelarea 3D si 4D a campului de tensiune, studiul interactiunii dintre faliile seismice prin transfer de tensiune atat la nivelul serilor de replici cat si la o scara de timp mai lunga, investigarea schimbarilor statice de tensiune, etc.).

Stadiul realizarii obiectivului fazei: Obiectivul fazei si al proiectului a fost realizat.

Prezentarea rezultatelor pariale in medii specializate nationale si internationale (manifestri stiintifice, publicatii, etc.) constituie un indicator robust al gradului de indeplinire a obiectivului si al procesului de evaluare a rezultatelor. Doi tineri cercetatori s-au perfectionat in problemele de baza ale cercetarii surselor seismice: determinare solutii mecanisme focale.

#### **Comunicari Stiintifice:**

1. Oros E., Popa M., Diaconescu M. (2017). The seismogenic sources from the West and South\_West of Romania. The 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd Nat. Conf. on Earthquake Eng. and Seismo, 14-17, June, 2017, Bucharest, Romania.
2. Diaconescu Mihail, OROS Eugen, Craiu Andreea, Placinta Anca Otilia. Seismotectonic characterization of the South-Western part of Southern Carpathians. 6th National Conference on Earthquake Engineering & 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 14 – 16 Iunie 2017, Bucuresti, Romania.
3. Oros E., Popa M., Diaconescu M., Radulian M. (2017). Active stress field and seismotectonic features in Intra-Carpathian region of Romania, Seminar Stiintific, INFP, 22.06.2017, Bucuresti, Romania
4. Oros E., Placinta A. O., Diaconescu M., Popa M. (2017). The seismicity, active stress pattern and seismotectonic setting in the western territory of Romania- the cas of Banloc-Voiteg seismogenic area.17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, IBWAP 2017 (11-14, July, 2017), Constanta, Romania.
5. OROS E, Popa M, Constantinescu EG, Diaconescu M. Stress field, seismicity and seismotectonic features in Apuseni Mts. Seminar Stiintific, INFP, 18.07.2017, Bucuresti.
6. Diaconescu M, Craiu A, OROS E, Constantinescu E G, Popescu E. Geotectonic characteristics of the Hateg Basin. 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, IBWAP 2017 (11-14, July, 2017), Constanta, Romania
1. OROS Eugen, Popa Mihaela, Diaconescu Mihail, Radulian Mircea. Active stress field and seismotectonic features in Intra-Carpathian region of Romania, EGU General Assembly 2017, 23–28 April 2017, Viena, Austria.
2. OROS Eugen., Popa Mihaela, Constantinescu Eduard Gabriel, Diaconescu Mihail. Stress field, seismicity and seismotectonic features in the Apuseni Mts area. 17th International Scientific GeoConference SGEM 2017, 27 June - 6 July, 2017, Albena, Bulgaria.
3. OROS Eugen, Placinta Anca Otilia, Diaconescu Mihail, Popa Mihaela. The seismicity, active stress pattern and seismotectonic setting in the western territory of Romania- the cas of Banloc-Voiteg seismogenic area.17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, IBWAP 2017 (11-14, July, 2017), Constanta, Romania.
4. Zaharia Bogdan, Grecu Bogdan, Popa Mihaela, OROS Eugen, Radulian Mircea. Crustal structure in the western part of Romania from local seismic tomography. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2017), 11-15 Sep 2017, Praga.
5. OROS Eugen, Popa Mihaela, Rogozea Maria. Calibration of crustal historical earthquakes from Intra - Carpathian region of Romania. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2017), 11 - 15 Sep 2017, Praga, Republica Ceha.

#### **Publicatii:**

1. Diaconescu Mihail, Craiu Andreea, OROS Eugen, Constantinescu Eduard Gabriel., Popescu Emilia. Geotectonic characteristics of the Hateg Basin. 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, IBWAP 2017 (11-14, July, 2017), Constanta, Romania. *ROMANIAN REPORTS IN PHYSICS* (trimisa)
2. OROS Eugen, Popa Mihaela, Diaconescu Mihail. The seismogenic sources from the West and South\_West of Romania. *ROMANIAN REPORTS IN PHYSICS* (trimisa)

3. OROS Eugen, Popa Mihaela, Diaconescu Mihail. The seismogenic sources from the West and South\_West of Romania. 6th Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, PROCEEDINGS, Edited by Florin Pavel, Mircea Radulian, Cristian Arion, Mihaela Popa, Alexandru Aldea, Bucharest, June 14-16, 2017, *CONSPRESS*, Bucharest, ISSN 2559-3943, p. 121-128
4. OROS E., Constantinescu E. G., Diaconescu M., Popa M. (2017). Stress field, seismicity and seismotectonic features in the Apuseni Mts area. *PROCEEDINGS 17th International Scientific GeoConference SGEM 2017*, Issue 14, 17, 421 – 428.
5. Diaconescu M., Craiu M. G., OROS E., Craiu A., Constantinescu E. G. (2017). Seismicity of Strei-Hateg Basin. *PROCEEDINGS 17th International Scientific GeoConference SGEM 2017*, issue 14, 17, 371 - 381.
6. Zaharia B., Grecu B., Popa M., OROS E., Radulian M. (2017). Crustal structure in the western part of Romania from local seismic tomography. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2017), 11-15 Sep 2017, Praga, CONFERENCE PROCEEDINGS. Vol. *IOP EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES* (acceptata)
7. Oros E., Popa M., Rogozea M. (2017). Calibration of crustal historical earthquakes from Intra-Carpathian region of Romania, World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2017), 11-15 Sep 2017, Praga, CONFERENCE PROCEEDINGS. *IOP EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES* (acceptata)
8. Oros E., Popa M., Diaconescu M. (2017). The seismogenic sources from the West and South-West of Romania. The 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 14-17, June, 2017, Bucharest, Romania, *PROCEEDINGS + capitol volum Editura SPRINGER* –acceptata)
9. Oros E. (2017). On the seismotectonic properties in the West of Romania. (*in pregatire pentru: Geologia Carpathica sau Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*)

## 7. Bibliografie

1. Angelier J. (1975). Sur l'analyse de mesures recueillies dans des sites faillés. C. R. Acad. Sci., Paris, D,
2. Angelier J. (2002). Inversion of earthquake focal mechanisms to obtain the seismotectonic stress IV. *Geophys J. Int.*, 150, 588-609
3. Angelier J., Mechler P. (1977). – Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie : la méthode des dièdres droits ? *Bull. Soc. géol. Fr.*, XIX (7), 1309-1318.
4. Bada, G., Horváth, F., Dovonyi, P., Szafián, P., Windhoffer, G., Cloetingh, S. (2007). Present-day stress field tectonic in Pannonian basin. *Global and Planetary Change* 58, 165–180
5. Borleanu F., Popa M, Mircea Radulian, Eugen Oros (2016). Source parameters of 2015 earthquake sequence occurred at the northwestern Romanian border. *Geophys. Research Abstracts*, 18, EGU2016-17335, 2016, EGU General Assembly 2016.
6. Carey-Gailhardis E., Mercier J.-L. (1987). A numerical method for determining the state of stress using focal mechanisms of earthquake populations; application to Tibetan teleseisms and microseismicity of southern Peru. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 82, 165-179.
7. Delvaux, D., and Sperner, B. (2003), Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: TENSOR. In: Nieuwland, D. (Ed.), *New Insights into Structural Interpretation and Modelling*: Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 212, 75–100.
8. Gephart J.W., Forsyth D.W. (1984). An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data – application to the San-Fernando earthquake sequence. *J. Geophys. Res.*, 89, 9305-9320.

9. Graczer, Z. (ed.), Bondar, I., Czanik, Cs., Czifra, T., Gyori, E., Kiszely, M., Monus, P., Sule, B., Szanyi, Gy., Toth, L., Varga, P., Wesztergom, V., Weber, Z., 2012-2015. Hungarian National Seismological Bull. 2011-2014, Seism.Obs, MTAGGI, Budapest.
10. Heidbach, O Rajabi, M Reiter, K Ziegler, M. WSM Team (2016): World Stress Map Database Release 2016. GFZ Data Services. doi.org/10.5880/WSM.2016.001.
11. Julien PH., Cornet F.H. (1987). Stress determination from aftershocks of the Campania-Lucania earthquake of 23.11.1980. Ann. Geophys, 5B,(3), 289-300
12. Oliver Heidbach, John Reinecker, Mark Tingay, Birgit Müller, Blanka Sperner, Karl Fuchs, and Friedemann Wenzel (2007). Plate boundary forces are not enough: Second 2nd third-order stress patterns in the WS Map database. Tectonics, 26, TC6014.
13. Heidbach O., M. Tingay, A. Barth, J. Reinecker, D. Kurfeß, B. Müller. (2010). Global crustal stress pattern based on the WStMap database 2008. Tectonophysics 482,3–15.
14. Hergert, T., O. Heidbach (2006), New insights in the mechanism of postseismic stress relaxation exemplified by the June 23rd 2001 Mw 8.4 earthquake Peru, GRS 33, L02307.
15. Horvath F. et al. (2006). Formation and deformation of the Pannonian Basin: constraints from observational data. From: GEE, D. G. & STEPHENSON, R. A. (eds) 2006. European Lithosphere Dynamics. Geol. Soc, London, Memoirs, 32, 191–206
16. International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk>.
17. Michael A.J. (1984). Determination of stress from slip data. JGR, 89, 11, 517-11, 526.
18. Ottemoller, V., Havskov J., (2014). SEISAN earthquake analysis software for windows, solaris, linux and macosx, 2014. © 2014 Ottemoller, Voss, Havskov.
19. Oros E., Popa M., Moldovan I. A., Popescu E. (2008b). Seismological DataBase for Banat Seismic Region: Catalogue of Focal Mechanism Solutions. R.J.P.53,7-8,965-977.
20. Oros E. (2011). Cercetari privind hazardul seismic in Banat. Teza de doctorat, Universitatea din Bucuresti, Fac. De Fizica.
21. Oros E., Mihaela Popa, Cristian Ghita, Maria Rogozea, Adina Rau, Cristian Neagoe. (2016). Catalog of focal mechanism solutions for crustal earthquakes. Intra-Carpathian region of Romania. 35th Gen. Ass. of ESC, Sept. 2016, Trieste, Italia.
22. NATO SfP Project 983054, Harmonization of Seismic Hazard Maps for the Western Balkan Countries. Final Report; [www.msb.gov.ba/dokumenti/AB38745](http://www.msb.gov.ba/dokumenti/AB38745), (2011).
23. Polonic, D Zugrăvescu, VNegoită (2005). The present-day stress field pattern in the eastern Carpathian bend area. Rev. Roum. GÉOPHYSIQUE, 49, 3–30, 2005
24. Radulian M., Mandrescu N., Panza G.F., Popescu E., Utale A., (2000). Characterization of Sesimogenic Zones of Romania. PAGEOPH, 157, 57-77.
25. Stucchi, M., Rovida, A., Gomez Capera, A.A. et al. (2013) J. Seismol, 17: 523.
26. Vasseur G., Etchecopar A., Philip H. (1983). Stress state inferred from multiple focal mechanisms. – Annales Geophysicae, 1, 4-5, 291-298.
27. Zugrăvescu D., Polonic G. (1997). Geodynamic compartments and present-day stress state on the Romanian territory Revue Roumaine de Geophysique, 41, 3-24.
28. Toth L., et al. (2002-2010). Hungarian National Seismol. Bull. 2002-2010, Kovesligethy Rado Seismological Obs, MTA CSFK GGI, Budapest.

Responsabil proiect  
*Dr. Eugen OROS*