

**Contractor: Institutul National 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 6. Modelarea in spatiul 4D a relatiei dintre seismicitate, tensiunile crustale si structura geologica in scopul evaluarii potentialului seismogen al surselor din partea de nord a Banatului (Timisoara, Arad - Sinnicolau Mare, Vestul Muntilor Apuseni)**

**Termen de încheiere a fazei: 06.11.2019**

1. Obiectivul proiectului: Proiectul „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocari in intelegerea dinamicii Pamantului” propune o investigatie multidisciplinara, complexă si intercorelata a fenomenelor care au loc în sistemul cuplat Litosfera-Hidrosfera-Atmosfera-Ionosfera, pentru modelarea fenomenelor tectonice si a proceselor seismice si identificarea relatiei spatio-temporale dintre structura geologica, tensiunile crustale, potentialul seismogen, în scopul descifrării conexiunilor complexe dintre fenomenele tectonice si efectele lor asupra campurilor geofizice masurabile la suprafata Pamantului. Proiectul urmareste totodata si modelele de propagare ale undelor seismice si estimarea efectelor 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). Acest proiect va aborda fenomenul seismic in interconexiune cu fenomenele generate de sistemele litosfera, hidrosfera, atmosfera si ionosfera in scopul diminuării riscului, tinand cont de noile metode si procedee aplicabile la aceste sisteme cuplate, incercand sa raspunda provocarilor complexe de

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

2. Rezultate preconizate 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 scenarii 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 scenarii 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: Principalul obiectiv al fazei consta in obtinerea unor modele ale structurilor seismogene din partea de Nord a Banatului care, pe baza relatiei cauzistice dintre geologie, tensiuni crustale si seismicitate, sa furnizeze datele cheie in evaluarea potentialului lor de reactivare exprimat probabilistic prin potentialul de reactivare (tendinta de alunecare) sau numeric in termeni de recurenta si magnitudine maxima posibila.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei: 1) Revizuirea si actualizarea cataloagelor de cutremure si de solutii ale mecanismelor focale (baze de date), 2) modelarea in timp si spatiu a seismicitatii (distributii ale magnitudinii, hipocentrelor, parametrilor de recurenta) si caracterizarea tectonicii active, 3) cartarea variatiei in timp si spatiu a tensorului tensiunilor crustale si a regimului tectonic calculate prin inversia formala a mecanismelor focale si analiza comparativa cu datele geologice si de seismicitate, 4) realizarea hartii seismotectonice a perimetrului investigat cu evidentirea structurilor cu potential de reactivare sub actiunea campului de tensiuni, 5) caracterizarea structurilor seismogene (tipologia faliilor active si cu potential seismogen, relatii de recurenta,  $M_{max}$  posibil)

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

Pentru obtinerea unor modele realiste ale surselor seismogene este necesara cunoasterea si intelegerea relatiei cauzistice dintre fortele tectonice, structura mediului geologic asupra caruia actioneaza acestea si cutremurele de pamant ca expresie a manifestarii deformatiilor crustale contemporane. In aceasta faza a proiectului s-a urmarit o evaluare si caracterizare complexa, multidisciplinara in timp si spatiu a campului de tensiuni crustale si a structurilor geologice in relatie

cu activitatea seismică din partea de Nord a Banatului în vederea identificării și caracterizării faliilor cu potențial ridicat de reactivare. Perimetrul investigat este cuprins între 45.550-46.750°N/20.100-22.100°E și corespunde cu jumătatea nordică a Zonei Seismogene Banat definită de Radulian et al. (2000), zona în care Oros et al., (2018) au descris cel puțin trei structuri cu o tectonică activă particulară și o istorie seismică relevantă pentru detalierea modelelor de hazard seismic la nivel local. Activitățile fazei s-au desfășurat pe parcursul a două etape principale. Întâi, pe baza unei documentări ample s-a obținut o bază cartografică a caracteristicilor geologice și tectonice. Apoi, pe baza unor date de calitate superioară referitoare la cutremurile istorice, a unor relații matematice noi și prin aplicarea unor metode și proceduri inovative au fost revizuite și completate până la sfârșitul anului 2018 cataloagele de cutremure și mecanisme focale. În etapa a doua, folosind tehnici și metode moderne de procesare și analiză s-au obținut modele ale variațiilor parametrilor de seismicitate cu semnificație seismotectonică (coeficientul  $b$  din relația Gutenberg-Richter) și ai câmpului de tensiuni crustale. Prin analiza relațiilor dintre acești parametri și datele geologice au fost identificate și caracterizate sistemele de falii cu înalt potențial de reactivare exprimat prin tendința de alunecare și stilul de faliere cel mai probabil.

*(Nota: Numerotarea Figurilor este cea din Raportul extins și din această cauză figurile nu sunt numerotate la rând)*

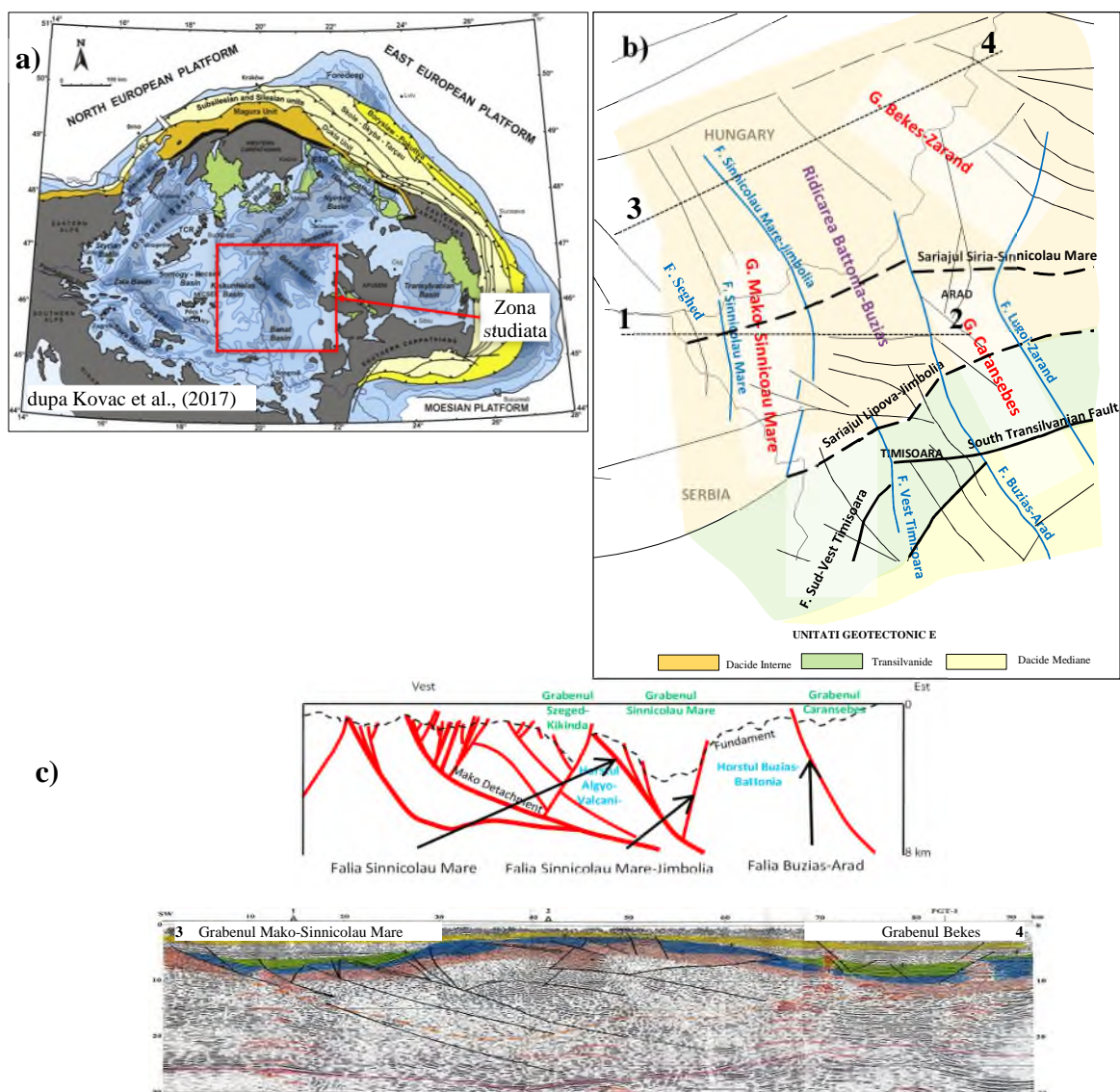
### 5.1. Caracteristici geologice și tectonice.

Harta geologică și tectonică a perimetrului investigat și a zonelor imediat învecinate din Serbia și Ungaria a fost obținută pe baza studiilor lui Horvath et al. (2006), Marovic et al. (2002), Matenco și Radivojevic (2012), Polonic (1985), Posgay et al., (1996), Sandulescu (1984) și Zugravescu și Polonic (1987). Morfostructurile identificate aparțin orogenului Carpatic, respectiv partea de V-SV a M. Apuseni și B. Panonic, respectiv Câmpia de Vest a României (Bazinul Banat) ca segment al sistemului bazinal Mako-Bekes din Ungaria (Figura 1a). **Structurile de fundament** sunt pre-Alpine, aparțin Dacidelor Interne și Transilvanidelor (panze de sariaj și obducție, cuvertură post-tectonică) și sunt acoperite cu sedimentar Neogen-Cuaternar (Figura 1b). Unitățile structurale componente sunt delimitate de falii inverse cu înclinare mare și vergență sudică orientate ENE-VSV (Sariajele Siria-Sinnicolau Mare și Lipova-Jimbolia) sau verticale (Falia Sud Transilvană) formate și reactivare succesiv în tectogeneze compresive și sunt acoperite de o cuvertură post-tectonică pastrată în interiorul unor grabene extensionale. **Structurile neotectonice** sunt de tip grabene/semi-grabene și horsturi alungite NNW-SSE și NV-SE sunt umplute cu sedimente care local depășesc 8000 m grosime (Grabenu Mako-Sinnicolau Mare). Aceste structuri sunt aproximativ perpendiculare pe cele din fundament pe care le segmentează formând blocuri tectonice de amploare locală cu evoluție neotectonică marcată de mișcări verticale diferențiate, translații și rotații controlate de falii intracrustale, adesea puternic curbate, listrice și de unghi-mic, asociate cu falii sintetice și antitetice care s-au dezvoltat în regim tectonic extensional (Figura 1, c). De la Vest spre Est se remarcă grabenele Seghed-Kikinda și Mako-Sinnicolau Mare separate prin ridicarea Algyo-Valcani, Grabenu Caransebes conectat spre Nord cu Grabenu Bekes-Zarand ambele separate primele prin ridicarea Battonia-Buzias. Complexitatea structurală internă a acestor grabene crește înspre Vest și respectiv spre Sud-Vest. **Tectonica rupturală** este dominată de două sisteme de falii de vârste diferite. Un sistem este orientat preferențial pe direcția NE-SV până la E-V, denumit aici Sistemul Carpatic (SFC), sistem care a fost format/reactivat în tectogenezele Cretacic-Paleogene când s-au desăvârșit structurile în panze ale Dacidelor și Transilvanidelor. Din acest sistem fac parte: i) **Falia Sud-Transilvană** orientată EV, care delimitează două blocuri geodinamice, respectiv Blocul Panonic în Nord și Blocul Geto-Danubian

in Sud. Aceasta prezinta in dreptul localitatilor Timisoara si Buzias doua ramificatii spre Sud-Vest, *Falia Sud-Vest Timisoara* si *Falia Banloc-Buzias*. Falia Sid-Transilvana este asociata in spatiul grabenului Caransebes cu activitate vulcanica Cuaternara (corpul vulcanic de la Lucaret), ii faliile inverse de unghi-mic sau contactele tectonice dintre diferite sub-uniati dacice, sunt orientate ENE-VSV cu inclinare spre S-SE (*Sariajele Siria-Sinnicolau Mare si Lipova-Jimbolia*). Celalalt sistem de falii cu orientare NNW-SSE, denumit Sistemul Panonic (SFP), este rezultatul tectogenezelor neotectonice, extensive, cu falieri normale, controlate de activitatea unei falii de unghi-mic, orientata NS, cu inclinarea/curbura spre Est in Sud si spre NE in Nord („Mako detachment” dupa Matenco si Radivojevic, 2012). Se remarca faliile *Lugoj-Zarand, Buzias-Arad, Timisoara Vest, Sinnicolau Mare-Jimbolia, Sinnicolau Mare si Seghed* (Figura 1b). O importanta inflexiune crustala este caracteristica perimetrului studiat localizata in zona de contact dintre D. Panonica unde grosimea crustei este de 20-25 km si Orogenul Carpatic caracterizat printr-o crusta de 30-35 km grosime. **Deformatiile crustale recente** modelate geodezic sunt caracterizate pe de o parte, prin vectorii de deplasare orientati spre NE (cca 1.5 mm/an), pe directia de deplasare a Microplacii Adria in zona de coliziune Africa-Europa (compresie N55°E) si rotirea acestora spre SE in perimetrul Muntilor Apuseni. Pe de alta parte se remarca contraste accentuate intre miscarile verticale negative (zona grabenelor cca - 2 mm/an) si cele pozitive (Carpati cca +2 mm/an). Valorile deplasarii la granita Romania-Serbia sunt de 3.1-4.8 mm/an pe directie medie NE si caracterizeaza contractii insotite de miscari verticale negative (-2 mm/an) cu gradienti orizontali ai miscarilor verticale puternic contrastanti (0.7 cm/cm.an in Grabenul Sinnicolau Mare si 0.5 cm/cm.an in Ridicarea Battonia-Buzias). **Modelul geotermic**, cu contrast puternic intre zona grabenului Sinnicolau Mare (flux termic < 60 mW/m<sup>2</sup>) si ridicarea Battonia-Buzias (zona Arad, flux termic > 90 mW/m<sup>2</sup>) se reflecta in **particularitatile reologice**, respectiv maxima rezistenta in lungul contactului intre Grabenul Sinnicolau Mare si Ridicarea Battonia-Buzias si profil pe adancime stratificat (doua zone de tranzitie ductil-casant la adancimea de 7-12 km si 14-16 km si doua nivele de vascozitate scazuta la 13-14 km si 17-30 km).

## 5.2. Baza de date.

Seismicitatea si campul de tensiuni in zona investigata au fost analizate pe baza a doua compilatii, un **catalog parametric de cutremure (CPC)** si un **catalog al solutiilor mecanismelor focale (CMF)**, actualizate la data de 31.12.2018. **CPC** are la baza catalogul obtinut in cadrul proiectului PN09300106, catalogul Romplus actualizat permanent de INFP si buletinul ISC si contine 2459 evenimente ( $0.1 \leq M \leq 5.6$ ,  $h = 0.4 - 31.1$  km), produse in perioada 1443-31.12.2018. Pentru pastrarea omogenitatii parametrilor de sursa toate cutremurele produse intre 2016 si 2018, inregistrate de Reteaua Nationala de Statii Seismice a Romaniei si de retelele de statii seismice ale tarilor vecine, au fost relocalizate cu acelasi model de viteze si acelasi algoritm de calcul folosit de Oros et al. (2008) dupa o revizuire a timpilor de parcurs P si S pe baza seismogramelor. Revizuirea cutremurelor istorice a fost facuta in cooperare cu proiectul PN19080102. Pentru relocalizarea celor produse in perioada instrumentala timpurie 1900-1980 s-au folosit timpii de parcurs P si S cititi direct pe seismograme si in buletinele seismice istorice obtinute prin parteneriatul in cadrul proiectelor internationale EuroSeismos si Sismos-Neries 2006-2010. O parte din seismogramele istorice au fost preprocesate si procesate (digitizate, corectate) in cadrul proiectului PN09300106 si o parte pe parcursul acestei faze. Locatia hipocentrelor s-a determinat aplicand un algoritm de localizare intr-o retea de tip grila si modelul de viteze IASPEI91. Frecvent s-au utilizat diferentele S-P in locul timpilor de parcurs absoluti pentru a minimiza influenta erorilor de timp caracteristica perioadei instrumentale istorice.



**Figura 1.** Caracteristici geologice si tectonice in partea de Nord a Banatului: a) incadrarea regionala, b) detalii tectono-structurale si c) profile pe adancime 1-2 (sus, dupa Matenco si Tadviojevic, 2012), 3-4 (jos, dupa Posgaj et al., 1996).

Magnitudinea moment pentru aceste seisme a fost calculata in functie de datele disponibile prin aplicarea mai multor metode, respectiv: i) relatiile de conversie de forma  $M_w = f(I_0; R_i; M_i)$  elaborate recent (Oros et al., 2017) pentru cazul in care am dispus doar de date de intensitate unitare sau incomplete ori magnitudini calculate de alti autori ( $I_0$  sau  $I_{max}$ , raze de izoseiste,  $R_i$ , magnitudini macroseismice si instrumentale,  $M_i$ ), ii) relatia (1) de forma  $M_w = f(D_i, Amplit)$  a lui Bernardi et al. (2005), calibrata pentru cutremurele crustale din vestul tarii de Oros (2011) si iii) metoda momentului seismic scalar.

$$\text{Log}M_0 = \text{log}(A_\omega/V_\omega) - \text{log}T_\Delta + 1.66\text{log}\Delta + K \quad (1)$$

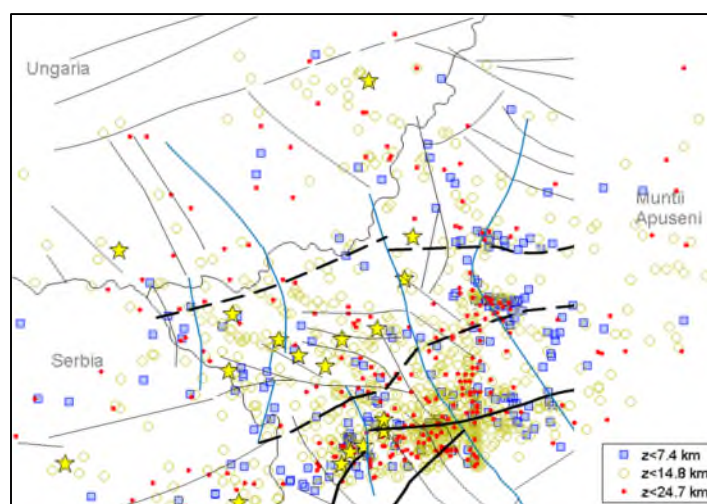
unde  $A_\omega$ =amplitudinea maxima masurata la perioada  $T_\omega$  la care instrumentul are amlificarea  $V_\omega$ ,  $T_\Delta$ =perioada la distanta  $\Delta$  (km),  $K=15.49$  (coeficient calculat pentru statii distribuite azimutal pe tot intervalul  $0-360^\circ$ ). Au fost revizuite instrumental 38 de evenimente cu magnitudini  $3.1 \leq M_w \leq 5.3$ ,

$h=3.5-18$  km, din care 25 sunt evenimente noi, care trebuie incluse in catalogul national Romplus (Tabelul 1). Pentru revizuirea cutremurelor istorice produse inainte de 1900 si care au fost parametrizate macroseismic am folosit mai multe metode si relatii matematice complementare, bazate pe algoritmi diferiti pentru a obtine localizari stabile si riguroase din punct de vedere stiintific. Pentru localizarea lor s-a aplicat metoda Meep combinata cu relatia lui Blake pentru estimarea adancimii focarului. Ambele metode au fost calibrate instrumental la nivel regional, urmand aceiasi procedura care a fost dezvoltata recent in cadrul proiectului PN18150101 (Oros et al., 2018). Rezultatele obtinute au fost verificate si validate prin aplicarea metodei Bakun-Wentworth bazata pe un nou model de atenuare a intensitatii macroseismice cu distanta si magnitudinea moment calibrata de asemenea instrumental in aceasta faza a proiectului. Magnitudinea moment determinata cu cele doua metode a fost verificata suplimentar aplicand relatii de conversie a intensitatii ( $I_0$ ,  $I_{max}$ , ariile izosestelor) la  $M_w$  obtinute de Oros et al. (2017). Au fost revizuite 166 cutremure ( $3.2 \leq M_w \leq 5.5$ ), din care doar 15 se regasesc in catalogul Romplus.

**Catalogul Mecanismelor Focale (CMF)** este construit pornind de la cel obtinut in cadrul proiectului PN16350105 (Oros et al., 2016), care a fost completat pentru partea istorica si actualizat pana la 31.12.2018. Acesta contine 189 mecanisme calitate A, B, C si D ( $1.3 \leq M \leq 5.3$ ,  $h=2.4-20.0$  km, 1936-2019), dintre care 152 mecanisme au calitatea A si B. Mecanismele focale ale cutremurelor istorice au fost determinate printr-o metodologie dezvoltata de Oros et al. (2016) si perfectionata in acesta faza a proiectului, metodologie care asigura un inalt nivel de stabilitate solutiilor calculate si rigurozitate stiintifica prin introducerea unor constrangeri eficiente de natura teoretica (forme de unda sintetice) si de observatie (alura campului macroseismic, tectonica si structura geologica).

### 5.3. Seismicitate – modele spatiotemporale. Caracteristici seismotectonice.

Distributia spatiala a epicentrelor (Figura 3) arata un model puternic dispers, cu exceptia unui numar redus de zone in care este evidenta tendinta de grupare a hipocentrelor pe aliniamente de dimensiuni mici, corelabile in limitele erorilor de localizare si a incertitudinilor datelor geologice cu sistemele de falii cunoscute, adesea la intersectiile SFC si SFP. Pana in prezent se cunosc 14 cutremure cu  $M \geq 5.0$ .



**Figura 3.** Distributia in functie de adancime a epicentrelor cutremurelor localizate in zona investigata in perioada 1443-2018. Stelutele galbene reprezinta cutremurele cu  $M_w \geq 5.0$

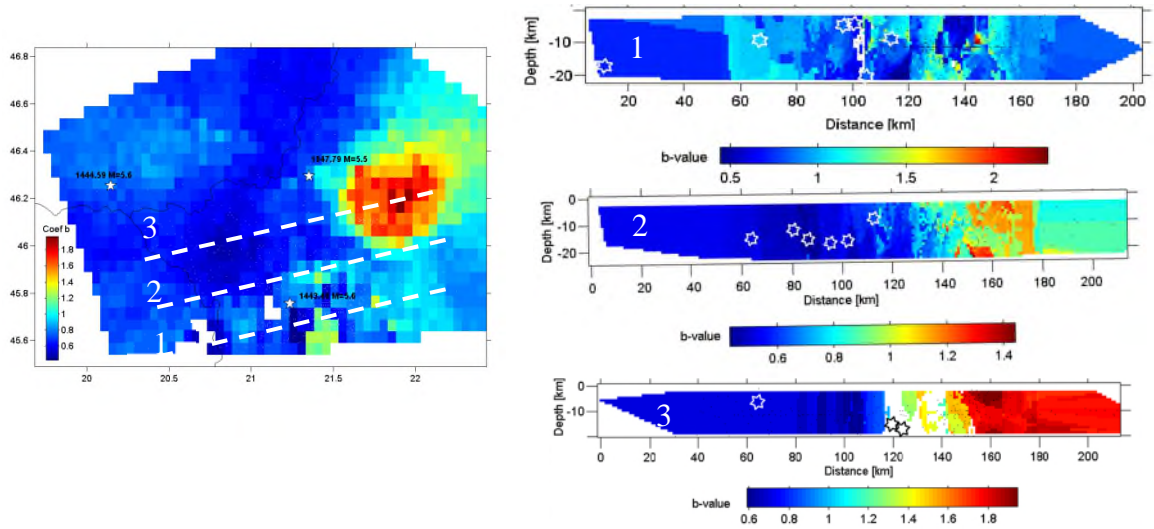
Acestea sunt concentrate in doua zone, una in Sud la intersectia dintre Falia Sud Transilvana si Falia Sud-Vest Timisoara cu tendinta de aliniere in lungul Faliei Sud-Vest Timisoara, iar celalata in Nord unde epicentrele sunt imprastiate intr-un perimetru aparent alungit pe directie EV aproximativ paralel cu structurile faliatate ale Dacidelor Interne.

Histograma adancimilor focale (Figura 4) are un profil multimodal, cu  $h_{max}=24.7$  km si cu varfuri clare la  $h=5$  km,  $h=9$  km,  $h=12-15$  km si  $h=17$  km. In cazul magnitudinilor se remarca frecvente predominante pentru  $M_w=1.4$ ,  $M_w=1.8$ ,  $M_w=2.4$ ,  $M_w=2.9$ ,  $M_w=3.4$  si  $M_w=4.0$ , magnitudinea de completitudine pentru relatia Gutenberg-Richter fiind  $M_c=2.7\pm 0.07$ . Se stie ca valorile coeficientului  $b$  din relatia GR are semnificatii atat statistice exprimand raportul dintre magnitudinile mici si mari, fiind input pentru calculul hazardului probabilist, cat si seismotectonice, putand fi folosit pentru cartarea tensiunilor crustale (Scholz, 2015) sau pentru investigarea stilului de falieri predominant intr-o structura specifica (Schorlemmer et al., 2005). Coeficientii de recurenta determinati din relatia GR pentru intreaga zona sunt:  $b=0.7\pm 0.03$ ,  $a=4.75$ , ( $a_{anual}=1.99$ ), valoarea mica a lui  $b$  sugerand acumulari de tensiuni. Variatia in timp a coeficientului  $b$  nu a putut fi investigata din lipsa de date sau date insuficiente pentru intervale de timp anterioare anului 2005 cand reseaua de statii seismice a Romaniei s-a dezvoltat semnificativ si au debutat mai multe proiecte de colaborate transfrontaliera de monitorizare seismica. Variatiile in spatiu ale valorilor lui  $b$  arata o puternica heterogenitate referitoare la starea de tensiuni si stilul de falieri la nivelul intregii zone, inclusiv in adancime (Figura 5). Analiza s-a facut in spatiul 2D folosind o grila cu noduri distantate la  $0.05\times 0.05$  grade cu  $N=100/N_{min}=25$ , iar in adancime grila a fost definita cu noduri distantate la  $1\times 1$  km. Se remarca pe de o parte o stare de tensiuni acumulate in partea de NV a zonei si predominarea falierilor in regim compresiv/falieri inverse si de decrosare (valori mici ale lui  $b$ ) si, pe de alta parte o crusta in care falierile se produc in regim extensiv intr-un volum mai putin tensionat (valori mari ale lui  $b$ ) in Est si Sud-Est. Zonele cu puternic contrast in ceea ce priveste valorile lui  $b$  sugereaza existenta unor asperitati pe falii cu potential ridicat de reactivare. De asemenea zonele cu valori foarte mici ale coeficientului  $b$  apar ca fiind asociate cu structuri tensionate care ar putea fi reactivate in conditii favorabile in raport cu orientarea tensiunilor regionale si/sau locale.

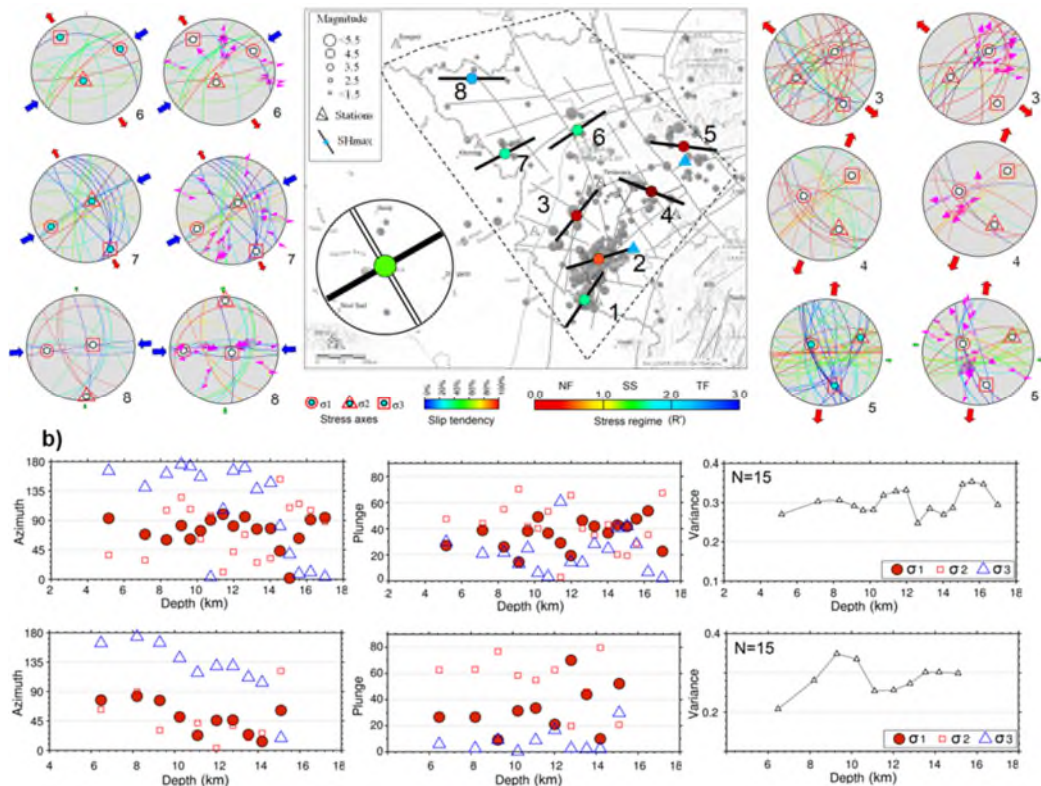
#### **5.4. Tensiuni, regim tectonic, potential de reactivare**

Campul de tensiuni si regimul tectonic a fost analizat prin intremediul caracteristicilor statistice ale parametrilor mecanismelor focale (geometria axelor P, T si N) si a parametrilor tensorului redus al tensiunii calculat prin inversia formala a mecanismelor focale (axele principale,  $S_1>S_2>S_3$ , raportul tensiunilor  $R=S_2-S_3/S_1-S_3$ , indexul regimului tectonic  $R'$ , tensiunile orizontale  $SH_{max}$  si  $SH_{min}$ ). Pentru inversia tensorului tensiune s-au folosit doar mecanismele de calitate A si B atat in bloc pentru intreaga zona investigata pentru a intelege relatia campului de tensiuni local cu tensiunile de ordinul intai controlat de procesele tectonice din zona de coliziune Africa-Europa cat si pentru 6 seturi de date selectate pe criterii obiective (seismicitate grupata, particularitati tectonice similare, nmar de mecanisme  $N_{min}=8$ /calitatea B a tensorului tensiune). Pentru interpretarea rezultatelor si obtinerea unei imagini complete a campului de tensiuni am folosit si rezultatele inversiei pentru doua seturi de date selectate in zona seismogena Banloc-Voiteg. In Figura 7 este prezentata harta zonei seismogene Banat. Este evident ca  $SH_{max}$  calculat pentru intregul spatiu cartat este comparabil cu cel determinat de Bada et al. (2007) insa regimul tectonic este transtensiv si nu compresiv cum a fost obtinut de acestia. Se poate nota o tendinta clara de rotire a lui  $SH_{max}$  de la NE-SV in vestul zonei la EV si NW-SE in partea de Est cel mai probabil datorata faliilor active.

Regimul tectonic inregistreaza variatiile cele mai pronuntate, de la transpresiv cu falieri inverse si de decosare in extremitatea de NV a zonei la transtensiv si normal in cea estica.



**Figura 5.** Variatia coeficientului b din relatia Gutenberg-Richter in spatiul 2D (stanga) si in adancime (dreapta). Stelutele albe din profilele de adancime sunt focarele cutremurelor cu  $M_w \geq 5.0$



**Figura 7. a)** Distributia tensiunilor orizontale maxime ( $SH_{max}$ ) si proiectiile pe semisfera inferioara Wulf a axelor tensorului tensiune si a planelor nodale NP1 si NP2, inclusiv sensul de alunecare cel mai probabil pe planul NP1. **b)** variatia tensiunilor si a regimului tectonic cu adancimea.



Probabilitatea de reactivare exprimata in procente prin tendinta de alunecare este variabila in fiecare dintre cel 6 areale investigate iar stilul de falieri preferential depinde in principal de caracteristicile tectonice si relatia dintre geometria planelor de falie si orientarea axelor principale ale tensorului tensiune si a tensiunilor horizontale. Variatia in adancime a tensiunilor si regimului tectonic este semnificativa sugerand complexitatea campului de tensiuni de ordinul trei (locale) cu impact puternic asupra evaluarii potentialului de reactivare a sistemelor de falii din zona investigata.

## Bibliografie

1. Aki K, Richards PG (2002) Quantitative seismology. University Science Books, USA
2. Bada, G., Horváth, F., Dövényi, P., Szafián, P., Windhoffer, G., Cloetingh, S. (2007). Present-day stress field tectonic inversion in the Pannonian Basin. *Global and Planetary Change* 58, 165-180.
3. Heidbach O, Tingay M, Barth A, Reinecker J, Kurfeß D, Müller B (2010) Global crustal stress pattern on the World Stress Map database release 2008. *Tectonophysics* 482:3–15
4. Gephart JW (1990) Stress and the direction of slip on fault planes. *Tectonophys.*, 8:845–858
5. Horvath F., G. Bada, P. Szafian, G. Tari, A. Adam, S. Cloetingh, (2006) Formation and deformation of the Pannonian Basin: constraints from observational data. In: Gee, Stephensen, (Eds.), *European Lithosphere Dynamics*. Geol. Soc. of London, 191–206, 2006.
6. M Kováč, A Andreyeva-Grigorovich, Z Bajraktarević, R Brzobohatý, S Filipescu, L Fodor, M Harzhauser, A Nagymarosy, N Oszcypko, D Pavelić, F Rögl, B Saftić, (2007). Badenian evolution of the Central Para-tethys Sea: Paleo-geography, climate and eustatic sea-level. *Geologica Carpathica*, 58, 6, 579—606
7. Matenco L., Radivojevic D.,(2012) On the formation and evolution of the Pannonian Basin: Constraints derived from structure of the junction area between Carpathians and Dinarides, *Tectonics*, 31, TC6007.
8. Oros E., Popa M., Moldovan I. A. (2008). Seismological DataBase for Banat Seismic Region (Romania)- Part 1: The Parametric Earthquake Catalogue. *Rom. J.our. Phys*, 53, 7-8. 955-964.
9. Oros E., Popa M., Moldovan I. A., Popescu E. (2008a). Seismological DataBase for Banat Seismic Region, Part 2:The Catalogue of the Focal Mechanism Solutions. *Romanian Journal of Physis*, 53, 7-8, 965-977.
10. Oros E. (2011). Cercetari privind hazardul seismic pentru Regiunea Seismica Banat. Teza de doctorat, Univesitatea Bucuresti, Fac. De Fizica.
11. Oros E., Popa M., Ghita C., Rogozea M., Rau-Vanciu A., Neagoe C. (2016). Catalog of focal mechanism solutions for crustal earthquakes in Intra-Carpathian region of Romania. 35th General Assembly of the E.S. C., 4-11 September 2016, Trieste, Italy, ESC2016-142.
12. Oros E., Popa M., Rogozea M. (2017). Calibration of crustal historical earthquakes from Intra-Carpathian region of Romania. *WMESS 2017 Conf. Proc.*, IOP Publishing Earth and Environmental Science, 032004, doi:10.1088/1755-1315/95/3/032004
13. Oros E., Popa M., Diaconescu M. (2018) The Seismogenic Sources from the West and South-West of Romania. In: Vacareanu R., Ionescu C. (eds) In book: *Seismic Hazard and Risk Assessment*. Springer Natural Hazards. Springer, Cham, Springer International Publi AG, Cap. Seismicity Analysis, pp. 53 - 69,
14. Polonic G. (1985). Neotectonic activity at the eastern border of the Pannonian Depression and its seismic implications, *Tectonophysics*, 47, 109-115.
15. Posgay K. et al. (1996). International deep reflection survey along the Hungarian Geotraverse. *Geophysical Tanscations*, 40, 1-2, 1-45.

16. Radulian M., Mandrescu N., Panza G.F., Popescu E., Utale A., (2000). Characterization of Sesimogenic Zones of Romania. PAGEOPH, 157, 57-77.
17. Raileanu V., Bala A. (1999). A correlation between focal depth intervals and crustal rheological parameters in the Banat and Crisana zones. Rev. Roum. Geophysique, 43, 31-43.
18. Sandulescu M (1984). Geotectonica Romaniei. Edit. Academiei.
19. Scholz, C. H. (2015). On the stress dependence of the earthquake b value. Geophysical Research Letters, 42, 1399–1402. Doi.org/10.1002/2014GL062863
20. Schorlemmer, D., Wiemer, S., & Wyss, M. (2005). Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes. Nature, 437(7058), 539–542.
21. Sperner BB, Müller O, Heidbach D, Delvaux J, Reinecker K, Fuchs K (2003) Tectonic stress in the Earth's crust: advances. In: Nieuwland DA (ed) The World Stress Map project: New insights in structural interpretation and modeling, London Geological Society, pp 101–116
22. Zoback ML (1992) First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map project. J Geophys Res 97:11703–11728
23. Zugravescu D., Polonic G. (1997). Geodynamic compartments and present-day stress state on Romanian territory. Revue Roumaine de Geophysique, 41, 3-24.

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).

In această etapă, obiectivul proiectului a fost indeplinit integral. Rezultatele obtinute sunt in concordanta cu tintele propuse venind in sprijinul implementarii proiectului: cataloage de cutremure si solutii ale mecanismelor in focar revizuite si actualizate, modele de seismicitate si seismotectonica, structuri seismogene si caracterizarea potentialului lor de reactivare.

Prin rezultatele prezentate referitoare la relatia dintre seismicitate, tectonica, structuri geologice si campul de tensiuni crustale care aduc un aport semnificativ cunoasterii si intelegerii conditiilor de reactivare a sistemelor de falii si de evaluare a potentialului seismogen al acestor structuri 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: Rezultatele obtinute impun necesitatea continuarii acestor activitati si extinderea lor la toate structurile seismogene crustale de pe teritoriul Romaniei in scopul asigurarii unui suport stiintific riguros in modelarea surselor de hazard seismic. De asemenea este oportun ca toate bazele de date existente sa fie actualizate continuu intr-un format omogen (cataloage de cutremure, cataloage ale solutiilor mecanismelor focale) astfel incat sa asigure reprezentativitate si credibilitate rezultatelor obtinute din prelucrarea si interpretarea lor.

**Indicatori rezultate:** 7 publicatii (3 publicate, 2 acceptate-sub tipar, 1 trimisa, 1 in pregatire) si prezentari la 8 conferinte

#### **PUCRARI PUBLICATE/TRIMISE/ACCEPTATE**

1. **Oros Eugen**, Anica Otilia Placinta, Mihaela Popa, Mihail Diaconescu. (2019), The 1991 seismic crisis from west Romania and its impact on the seismic risk and hazard management. (*acceptata la Environmental Engineering and Management Journal*)

2. **Oros E.**, Placinta A. O., Popa M. (2019). Calibration and validation of Meep method for location and magnitude estimation of historical earthquakes from Intracarpathian region of Romania, *Proceedings WMESS 2018*, IOP Conference Series Earth and Environmental Science, March 2019, vol. 221, 012057, Published under licence by IOP Publishing Ltd LicenseCC BY 3.0 (Conference Proceedings ISI). DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012057,
3. **Oros E.**, Constantinescu E., Paulescu D., Popa M., Placinta A. O. (2019). Using early instrumental data to determine the source parameters of the strongest historical earthquakes occurred in west Romania (1900 - 1980). *Proceedings SGEM 2019*, , Vol. 19, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Issue: 1.1, pp. 991-998. (Conference Proceedings ISI). DOI: 10.5593/sgem2019/1.1/S05.122
4. **Oros E.**, Placinta A. O., Popa M., Rogozea M., Paulescu D, (2019), Attenuation of macroseismic intensity for crustal Romanian earthquakes: calibrating the Bakun-Wentworth's method. *Proceedings WMESS 2019*, IOP Conference Series Earth and Environmental Science (sub tipar - Conference Proceedings ISI).
5. Diaconescu, M., Cristian Ghita, **Oros Eugen**, Seismo-tectonic analysis of the main faults from Apuseni Mountains. *Proceedings SGEM 2019*, Vol. 19, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Issue: 1.1, pp. 931-938 (Conference Proceedings ISI), DOI: 10.5593/sgem2019/1.1/S05.115,
6. **Oros Eugen**, Mihaela Popa, Paulescu Daniel, Anica Otilia Placinta, Cristian Ghita (2019), The focal mechanism solutions catalogue for the Intra-Carpathian region of Romania and its impact on the stress field assessment (*trimisa Annals of Geophysics*).
7. **Oros E.**, Popa M., A. O. Placinta (2019). A Revised Earthquake Catalogue for Intra-Carpathian Region of Romania (*in pregatire pentru Journal of Seismology*)

## CONFERINTE

### XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 28 June-7 July 2019 (SGEM)

1. **Oros E.**, Constantinescu E., Paulescu D., Popa M., Placinta A. O., Using early instrumental data to determine the source parameters of the strongest historical earthquakes occurred in West Romania (1900 – 1980). XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, 28 June - 7 July, 2019, Albena, Bulgaria.
2. M. Diaconescu, C. Ghita, **E. Oros.**, Seismo-tectonic analysis of the main faults from Apuseni Mts. XIX Intern. Multidisciplinary Sci. GeoConf. SGEM 2019, 28 June - 7 July, 2019, Albena, Bulgaria.

### 19th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 16-19 Iulie 2019 (IBWAP)

3. **Oros Eugen**, Anica Otilia Placinta, Mihaela Popa, Mihail Diaconescu. The 1991 seismic crisis from west Romania and its impact on the seismic risk and hazard management. The 19th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, IBWAP 2019, July 16-19, 2019, Constanta, Romania. Book of Abstracts, Ed: Vladoiu R., Balan V., Mandes Vaduva A., S4 P3, pg.140
4. M. Diaconescu, C. Ghita, Razvan Raicu, **E. Oros**, E. Constantinescu, M. Marius, Active faults from the Western part of Southern Carpathians (Romania). 19th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, IBWAP 2019, July 16-19, 2019, Constanta.
5. M. Diaconescu, C. Ghita, S. Shchrebina, **E. Oros**, E. Constantinescu, M. Marius, Seismic Sources from West and North-Western part of the Romanian territory, 19th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, IBWAP 2019, July 16-19, 2019, Constanta.

**5th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS 2019, Praga, Republica Ceha, 8-14 septembrie 2019**

Oros E., Placinta A. O., Popa M., Rogozea M., Paulescu D., Attenuation of macroseismic intensity for crustal romanian earthquakes: calibrating the Bakun-Wentworth's method

Partheniu, R., A. O. Placinta, A. Tolea, Shabla area tsunami modeling using TRIDEC Cloud Software

Placinta, A.O., E. Popescu, F. Borleanu, M. Radulian, Clustering properties of the Vrancea intermediate-depth source

**Topo-Transilvania meeting, Octombrie 2019**

Elena Florinela Manea, Erzsébet Győri, Alina Coman, Shallow structure in the Pannonian Basin from ambient noise measurements

**14th Workshop of the International Lithosphere Program Task Force Sedimentary Basins, Octombrie 2019**

Elena Florinela Manea, Erzsébet Győri, Alina Coman, Carmen Ortanza Cioflan, Mircea Radulian, István János Kovács Single station analysis of microseismic noise in the Pannonian Basin

Alina Coman, Elena Florinela Manea, Carmen Ortanza Cioflan, Mircea Radulian Investigations of the sedimentary structure along Transylvanian Basin

**“XIV International Seismological Workshop “Modern Methods Of Processing And Interpretation Of Seismological Data”, Chisinau, Republic of Moldova**

**Rogozea M.**, Dinescu R., Borleanu F., Popa M., Radulian M. , “Spatio-temporal distribution of seismicity and source properties in Romania (south-western Carpathians) revealed by waveform correlation techniques”;

**Congress of the Balkan Geophysical Society - BGS 2019”, Bulgaria, Albena**

**Rogozea M.**, Felix Borleanu, Raluca Dinescu, Andreea Chircea, Mihaela Popa, “.Use of waveform cross-correlation method to discriminate the quarry blasts from earthquakes recorded in the Dobrogea region between 2012 and 2016”.

**Dinescu R.**, Ghica D., Borleanu F., Popa M., Rogozea M., Chircea A., “Monitoring regional explosions with Romanian seismo-acoustic arrays. Case study: 09th of October 2018, Ukraine”.

B. Grecu. A. Tiganescu, E. F. Manea, C. Neagoe, B. Zaharia, Non-invasive studies using ambient vibrations in Romania

B. Grecu. A. Danet, L. Manea, E. F. Manea, A. P. Constantin, C. Neagoe, C. Ionescu Next-generation of ShakeMap for Romania and neighboring countries

N. Poiata, D. Tataru, B. Grecu Seismicity in Galati region, Romania: from 2013 seismic swarm to the monitoring of present-day seismic activity

D. Tataru, D. Toma-Danila, E. Nastase, B. Grecu, Using expert advice and research tools in support for decision making and society awareness

**Geoscience 2019, Bucuresti, Romania, 29 Noiembrie 2019**

Dinescu R., Muntean I., Olacinta A., Dinu C., **Oros E.**, Radulian M. (2019). Analysis of seismic sequences in Caransebes-Mehadia Basin between 2014 and 2016. Geoscience 2019, Bucuresti 29 Noiembrie 2019

### Concluzii

Metodologia dezvoltata si aplicata in aceasta faza a permis obtinerea unor rezultate de exceptie atat in ceea ce priveste bazele de date folosite in investigatiile noastre cat si in rigurozitatea stiintifica a rezultatelor si interpretarilor obtinute prin utilizarea lor. Catalogul de cutremure are un nivel mai inalt de omogenitate si acuratete (localizare, magnitudine). Acesta este superior celor folosite in compilatie pe componenta istorica, deoarece, pe de o parte, toti parametri de sursa au fost obtinuti fie instrumental pe baza datelor obtinute din seismograme istorice fie folosind metode de parametrizare macroseismica calibrate instrumental si pe de alta parte introduce in catalogul de cutremure romanesc 53 de cutremure istorice noi, 38 parametrizate instrumental si 15 macroseismic. Procedura inovativa de determinare a mecanismelor in focare a permis obtinerea unor solutii stabile, inclusiv pentru cutremurele istorice puternice, ceea ce a permis determinarea tensorului tensiune si a tensiunilor orizontale, inclusiv regimul tectonic folosind tehnici de inversie formala a acestora pentru seturi de date selectate in functie de particularitatile de seismicitate si tectonica. Investigatiile de detaliu astfel sustinute cu date de calitate a condus la cunoasterea starii de tensiune la scara locala si a potentialului de reactivare a structurilor geologice si a stilului de falie preferential in conditii de tensiune particulare cu impact asupra analizelor determinate de hazard seismic. Alaturi de modelul de seismicitate construit pe baza variatiei in spatiul 3D a coeficientului  $b$  al relatiei GR, model care identifica zone de asperitati cu potential ridicat de producere a unor cutremure in viitorul apropiat, distributiile tensiunilor orizontale maxime corelate cu datele tectonice au scos in evidenta structuri cu potential seismogen ridicat, confirmate sau nu de istoria seismica a regiunii, precum si structuri care aparent sunt blocate, explicand lipsa unei activitatii seismice semnificative.

**Responsabil Faza**

**Dr. Eugen Oros**

**Responsabil proiect**

**Dr. Iren-Adelina Moldovan**