

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 1 Revizuirea si actualizarea bazei de date seismologice (catalog de cutremure si catalog solutii mecanisme focale). Termen: 31 Mai 2016

Obiectivul principal al proiectului: Determinarea campului de tensiune activ si a regimului tectonic in spatiul Intra-Carpatic si definirea Surselor Seismogene Independente.

Obiectivul fazei: Elaborarea Catalogului cu Solutiile Mecanismelor in Focar.

Modelarea campului de tensiune activ, stabilirea raportului dintre acesta si structura geologica precum si definirea relatiei regim tectonic-geologie-seismicitate reprezinta elemente cheie pentru cercetarea seismogenezei crustale din teritoriul aflat in studiu cu impact semnificativ in evaluarea realista a hazardului seismic regional si local, probabilist si determinist. Proiectul urmareste ca prin abordari specifice cercetarii aplicative si fundamentale ale problematicii sa contribuie la o mai buna cunoastere si intelegere a proceselor seismotectonice din spatiul Intra-Carpatic din tara noastra care sa constranga realist definirea structurilor geologice cu potential de reactivare ca surse seismogene independente, indiferent daca potentialul lor seismic a fost sau nu confirmat istoric.

Regiunea studiata este situata in jumatatea vestica a Romaniei si coincide cu blocul Dacia si extremitatea estica a blocului Tisa componente ale Microplacii Tisa-Dacia din Bazinul Carpato-Panonic (blocurile Transilvan, Geto-Danubian si Panonic cf. Zugravescu si Polonic, 1997). *Seismicitatea* istorica si instrumentala este de tip crustal (adancimi focale $h \leq 50-60$ km), cu $M_{\max\text{observat}} \geq 6.0$ (ex. $M=6.5$, Carpatii Meridionali, 26.10.1550, 10.04.1571, 10.08.1590; $M=6.4$, zona Fagaras, 26.01.1916; $M=6.2$, zona Crisana, 01.07.1834; $M=6.0$, zona Banat/granita cu Ungaria, 04.08.1444) (ROMPLUS, www.infp.ro). Distributia spatiala a epicentrelor arata o tendinta clara de grupare in mai multe zone seismogene distincte (Figura 1), respectiv zonele Banat, Dunare, Crisana, Maramures si Transilvania, Fagaras (Radulian et al., 2000). *Geologia* regiunii este complexa, in regiune intalnindu-se formatiuni sedimentare neogene, structuri post-tectonice suprapuse peste elemente tectono-structurale apartinand suturilor oceanice si unitatilor de soclu al marginilor continentale (Dacide, Pienide si Transilvanide) la care se adauga intruziuni magmatice si corpuri vulcanice. Aranjamentul tectonic al regiunii este in blocuri cu dezvoltari spatiale locale (grabene si horsturi) pana la regionale (blocuri individualizate geodinamic) si delimitate sau fragmentate de sisteme de falii active in stadiul neotectonic (Zugravescu si Polonic, 1997).

Studiul campului de tensiuni si al tectonicii active este dependent de calitatea si rezolutia datelor seismologice (parametri focali ai cutremurelor) si geologice (geometria 3D a structurilor geologice). Erorile de localizare a cutremurelor deriva din i) geometria retelei de statii seismice, ii) numarul si acuratetea timpilor de parcurs ai undelor seismice si iii) insuficienta cunoastere a modelelor de viteze. Alaturi de incertitudinile hartilor tectonice din zonele acoperite de sedimente aceste erori influenteaza negativ atat relatia geometrica seismicitate-structuri/falii geologice cat mai ales solutiile mecanismelor focale, ca observatii unice, „in-situ” pentru procesul de faliere seismica. Pornind de la aceste neajunsuri observate in practica seismologica de investigare a campului de tensiuni si a tectonicii active, proiectul urmareste in prima faza obtinerea unui catalog al solutiilor mecanismelor in focar complet, actualizat si revizuit, cu parametri focali de inalta precizie si acuratete, determinati pe baza datelor primare reevaluate si prin aplicarea unor metode moderne de localizare si inversie a polaritatilor si formelor de unda.

Structura catalogului. Catalogul are doua componente:

- 1) o componenta caracteristica cataloagelor parametrice de cutremure (ora la origine, coordonatele epicentrului, adancimea focarului si magnitudinea moment, M_w) cu toti parametri (re)evaluati pe baza datelor primare (seismograme, buletine seismice): relocalizare prin implementarea unui algoritm care combina cele mai eficiente si moderne tehnici de inversie (individuale de tip grid-search si de grup, JHD, HDD) si determinare a magnitudinii M_w (metoda spectrala sau relatii de conversie)
- 2) o componenta care contine parametrii solutiilor mecanismelor in focar (directia, inclinarea si alunecarea planelor nodale, orientarea si inclinarea axelor de tensiune, P, T si a axei B) (re)determinati pe baza datelor primare (seismograme, buletine) si a noilor localizari folosind metode combinate in functie de calitatea datelor (inversia tensorului moment, a formelor de unda si a polaritatilor).

Limitele catalogului. Catalogul contine date pentru cutremurele produse in perioada 1916-2015 (in forma finala va fi completat cu evenimente produse in 2016) si nu are limite de magnitudine. S-au catalogat toate cutremurele pentru care s-au obtinut minim 6 polaritati de tip impulsiv pe seismogramne nefiltrate cu raport semnal/zgomot > 2.0 de la statii dispuse astfel incat deficitul azimutal sa fie mai mic de 180 grade. Limitele

spatiale ale catalogului sunt constranse tectonic si geodinamic fiind extinse si in zone invecinate din Ungaria si Serbia (Zugravescu si Polonic, 1997).

Colectarea datelor. Datele necesare elaborarii catalogului s-au obtinut din mai multe tipuri de surse:

i) literatura: cataloage, studii de cutremure sau secvente de cutremure, rapoarte, buletine ale agentiilor internationale si nationale din tarile vecine, etc.;

ii) seismograme digitale si analogice inregistrate de Reteaua Nationala de Statii Seismice (in prezent 128 de statii seismice), retele de statii seismice temporare (ex. proiectul International South Carpathians 2009-2011/32 de statii; retea mobila locala, 1991, Banat) si retele din tarile vecine.

Intr-o prima etapa s-au compilat 2 cataloage:

1) un *catalog de lucru al solutiilor mecanismelor in focar* cu 228 de evenimente (sursa: literatura)

2) un *catalog de lucru parametric* cu 6206 evenimente produse in perioada 1950-2016 (Figura 1) (sursa buletinul online ISC), care a fost decontaminat ulterior prin eliminarea evenimentelor suspectate a fi explozii. Prin metoda raportului zi/noapte al numarului de seisme s-au delimitat zonele cu posibile explozii, iar prin analiza vizuala a seismogramelor s-au eliminat evenimentele pentru care s-au indeplinit cumulativ criteriile aproximative privind intervalul orar de producere si orele repetitive/zona de explozii (intervalul 05-16 a.m. UT), formele de unda caracteristice (dispersie, unde de suprafata, atenuare vs amplitudine, amplitudini unde S), polaritati pozitive.

Crearea setului de date primare si validare. Aplicand rutina <https://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/armlink> s-au extras din baza de date digitala a INFP un numar de 525.855 seismograme (3 componente, senzori BB si SP) pe baza carora s-a obtinut intr-o maniera consecventa (seismograme nefiltrate) un set de date de mare precizie pentru timpii de parcurs ai undelor P si S (Pg, Sg, Pb, Sb, Pn si Sn, P, S) si pentru polaritatile primelor sosiri de unde P (Pg, Pb, Pn, P). S-a pus accentul pe culgerea fazelor S care asigura cresterea calitatii localizarilor si stabilitatea solutiilor in special pentru parametrul adancime. O prima evaluare si validare a citirilor a fost efectuata cu diagram Wadati si valoarea reziduurilor (au fost eliminati timpii cu reziduuri mai mari de 1s). Din cele 3374 evenimente seismice cel mai probabil tectonice ramase dupa decontaminare si validare s-au pastrat in catalog **1464 cutremure** (s-au retinut si evenimentele cu polaritati impulsive la min. 4 statii, cu raport semnal zgomot >3.0 si deficit azimutal <100 grade).

(Re)Localizare. In practica seismologica localizarile se obtin prin i) metode individuale, care pot introduce ponderi controlate interactiv (ex. Ottemoler si Havskov, 2014) si ii) metode de grup, care se aplica fie pe modele de viteza 1D cuplate cu corectii de statie (ex. Pujol, 1988 - metoda JHD), fie prin inversiune cuplata timpii de parcurs-structura de viteza (ex. Kissling et al., 1988; Waldhauser si Ellsworth, 2000 - metoda HDD). Definirea realista a modelului de viteza 1D este de mare importanta intrucat in regiuni cu variatii geologice laterale mari si topografii puternic neregulate, asa cum este cazul regiunii studiate in cadrul proiectului, pot fi introduse mari erori sistematice de localizare. Pentru o constrangere mai buna a locatiilor hipocentrale s-a efectuat in aceasta faza o analiza de optimizare a modelului de viteze folosind rutina VELEST (Kissling et al., 1994) din pachetul Seisan (Ottemoler si Havskov, 2014). S-au folosit 68 cutremure inregistrate la 101 statii (1219 faze P si 610 faze S). Din rezultatele preliminare nu s-au observat, in general, diferente semnificative pentru localizarile obtinute cu doua modele de viteza (un model simplu-stratificat-Oros, 2011 si unul multistratificat-Zaharia et al., 2010), cu exceptia cutremurelor din nordul regiunii pentru care datele provin de la un numar mic de statii seismice, cu un deficit azimutal si distante epicentrale mari. Rezultate mult imbunatatite s-au obtinut si aplicand un algoritm testat anterior (Oros, 2011), care combina eficient metodele de grup cu metoda individuala, cea din urma permitand introducerea unui sistem complex de ponderi si utilizarea timpilor tuturor fazelor apropiate (ex. Pg, Sg, Pb, Sb). Fazele apropiate constrang suplimentar adancimea focarelor, parametru fundamental important pentru determinarea solutiilor mecanismelor in focar. Rezultatele obtinute in aceasta etapa a fazei arata necesitatea ca intr-o etapa ulterioara metoda de localizare sa se aplice pe zone epicentrale de dimensiuni mici palsate in interiorul retelelor de statii seismice in scopul diminuarii efectelor datorate variatiilor laterale si azimutale foarte mari ale vitezelor si pentru a spori ponderea statiilor apropiate de zonele epicentrale.

Determinarea magnitudinii. S-a determinat magnitudinea moment, Mw fie prin metoda spectrala, fie prin conversii de forma $M_w = f(M_i)$, unde M_i este M_c , M_L , m_b , M_s .

Determinarea solutiilor mecanismelor in focar. Solutiile mecanismelor in focar s-au determinat in aceasta etapa a fazei pentru 1116 evenimente (76%) prin inversia polaritatilor (Figura 2). Un aport deosebit l-a avut reseaua temporara de statii din cadrul proiectului South Carpathians 2009-2011 care a facilitat determinarea solutiilor preliminare pentru 236 evenimente din cele 311 cutremure cu date valide selectate initial. In etapele urmatoare ale fazei se va analiza fiecare solutie in parte urmarindu-se atat stabilitatea si unicitatea lor

prin aplicarea combinata a tehnicilor de inversie a polaritatilor (ex.FocMec, FFTP, HASH) si a formelor de unda (rapoarte amplitudini, inversia tensorului moment) cat si pentru obtinerea unor parametri necesari gruparii in clase de calitate. Metoda combinata a fost testata si aplicata cu succes pentru secventa seismica din 2015 (Borleanu et al., 2016).

Bibliografie

1. Borleanu F., Popa M, Mircea Radulian, Eugen Oros (2016). Source parameters of 2015 earthquake sequence occurred at the northwestern Romanian border. Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-17335, 2016, EGU General Assembly 2016, 23–28 April 2017, Vienna, Austria.
2. Gomberg, J. S., K. M. Shedlock, and S. W. Roecke. (1990). The effect of S-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 80, 1605 - 1628.
3. ISC-International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk>, Thatcham, UK, 2013.
4. Kissling E. (1988). Geotomography with local earthquake data. *Rev Geophys*, 26:659–698.
5. Ottemoller, V., Havskov J., (2014). SEISAN earthquake analysis software for windows, solaris, linux and macosx, 2014. © 2014 Ottemoller, Voss,Havskov.
6. Oros E. (2011). Cercetari privind hazardul seismic in Banat. Teza de doctorat, Univ.din Buc., Fac. De Fizica.
7. Radulian M., Mandrescu N., Panza G.F., Popescu E., Utale A., (2000). Characterization of Sesimogenic Zones of Romania. *PAGEOPH*, 157, 57-77.
8. Sandulescu M. (1984). *Geotectonica Romaniei*. Ed. Tehnica, Bucuresti.
9. Zaharia B., Oros E., Popa M., Radulian M. (2010). Tomographyc research in Banat area (western Romania) using local earthquake data. ESC 32nd General Assembly, ESC, Montpellier, France, September 6-10, 2010.
10. Zugravescu D., Polonic G. (1997). Geodynamic compartments and present-day stress state on the Romanian territory *Revue Roumaine de Geophysique*, 41, 3-24.
11. Toth L., et al. (2002-2010). Hungarian National Seismological Bulletin 2002-2010, Kovesligethy Rado Seismological Obs, MTA CSFK GGI, Budapest.
12. Waldhauser F. and W.L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 1353-1368, 2000.

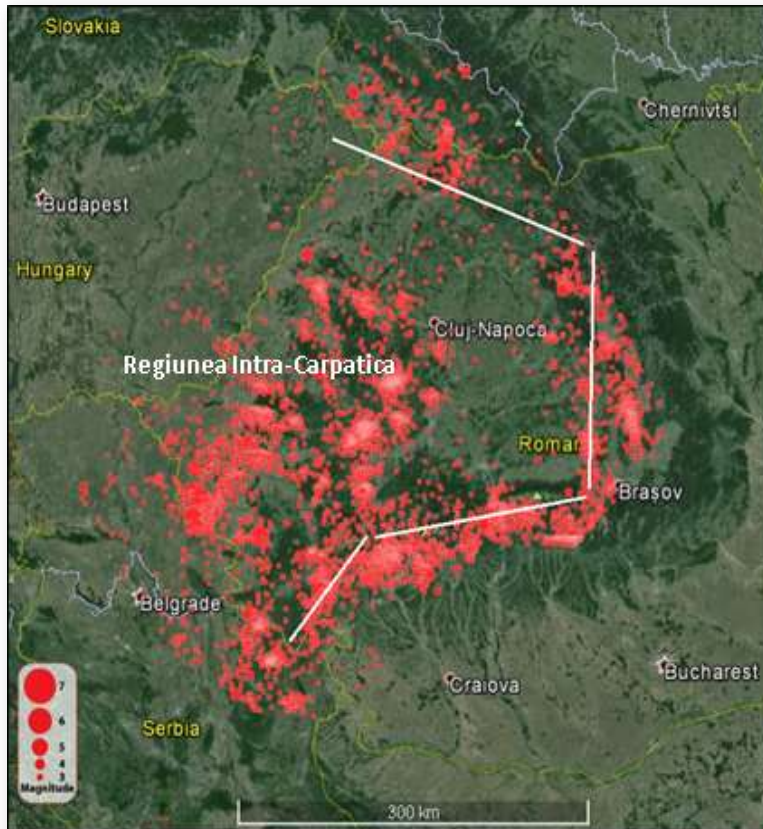


Figura 1. Regiunea Intra-Carpatica-limite aproximative (cf. Zugravescu si Polonic, 1997). Distributia epicentrelor evenimentelor seismice inainte de decontaminare (6206 evenimente).

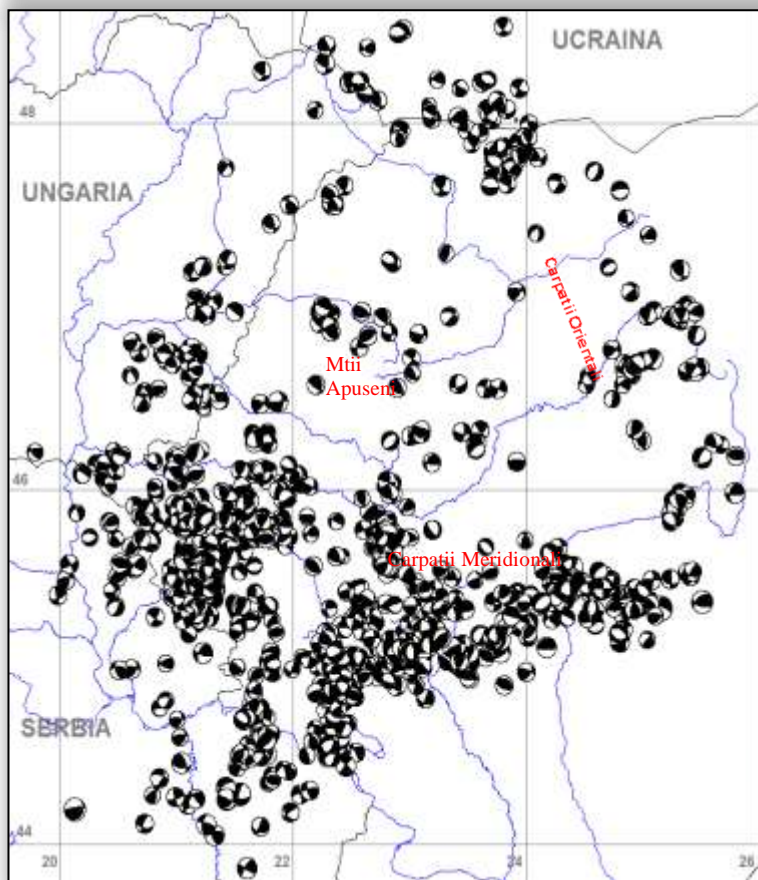


Figura 2. Distributia cutremurelor cu solutii ale mecanismelor in focare