

# PARAMETRII SURSELOR SEISMICE – INTENSITATEA SEISMICĂ ȘI MAGNITUDINEA

Mirela-Adriana ANGHELACHE<sup>1</sup>

mirelaadrianaa@yahoo.com

**ABSTRACT:** The monitoring of global seismicity by international agencies has the purpose to rapidly and accurately estimate the seismic source parameters, especially for major earthquakes. În the case of weaker seismic events, because of the regional impact and relative localization of the seismic networks (of each agency) the estimation of these parameters is different and more difficult. This paper presents two parameters of the seismic source, the macroseismic intensity and magnitude, parameters of interest for the general public, with reference to the earthquake epicenter, depth and time of its occurrence. These parameters characterize the size of the earthquake, depending on the observed damages and release of the seismic energy.

**KEYWORDS:** earthquake, seismic source, macroseismic intensity, magnitude

## *Sursele seismice și cercetarea lor*

Undele seismice generate de sursele seismice sunt oscilații datorate deformațiilor elastice care se propagă prin Pământ și care pot fi înregistrate de senzori seismici și de sisteme de achiziții date.

Înțelegerea și cuantificarea detaliată a proceselor fizice și a geometriei surselor seismice se numără printre scopurile finale ale seismologiei, fie că se urmărește descifrarea tectonicii, îmbunătățirea evaluării hazardului seismic, fie discriminarea între evenimentele naturale și antropice.

Cutremurele pot fi cuantificate în funcție de diferiți parametrii, geometrici și fizici, cum ar fi timpul și localizarea rupturii (inițiale), orientarea planului de falie și alunecării, lungimea faliei, aria de rupere, magnitudinea,

<sup>1</sup> Cercetător științific la Institutul de Geodinamică „Sabba S. Ștefănescu” al Academiei Române; membru titular al Diviziei de Istoria Științei a CRIFST al Academiei Române.

momentul seismic, stresul, durata și istoricul de timp al rupturii, viteza particulelor, accelerarea mișcării faliei etc. Această complexitate nu poate fi reprezentată doar cu un număr sau de câțiva parametri și de aceea există mai multe abordări.

O primă abordare se bazează pe analiza detaliată a unui eveniment seismic dat, atât în câmpul apropiat, cât și în câmpul îndepărtat, analizând într-o gamă largă de frecvențe formele de unde și spectrele diferitelor tipuri de unde seismice, până la câmpul de deplasare statică, completate de investigații pe teren în ceea ce privește efectele macroseismice și expresiile la suprafață ale rupturii faliei.

Astfel de investigații detaliate și complexe necesită timp și efort. Ele pot fi fezabile doar pentru evenimente importante și sunt, de obicei, dincolo de sfera practicii de observare seismologică de rutină. Imagini detaliate ale procesului de rupere pot fi obținute deja în timp real prin intermediul unor rețele dense pentru măsurarea mișcării puternice a terenului, care sunt desfășurate în zonele sursă ale cutremurelor potențial mari. Acestea sunt importante pentru realizarea hărților de hazard seismic și, prin urmare, pentru o mai bună orientare a eforturilor de prim ajutor, dar și ca referințe empirice atât pentru inginerii din domeniul ingineriei seismice și urbaniști, cât și pentru ceilalți actori implicați în pregătirea pentru a face față dezastrelor și atenua efectele lor.

Cea de-a doua abordare, mult mai simplă, este de obicei făcută la observatoarele seismologice și la centrele de date pentru analiza de rutină a datelor brute. Aceasta descrie sursa seismică doar printr-un număr limitat de parametri, cum ar fi timpul de origine și localizarea (ruptura) inițială, magnitudinea, intensitatea sau accelerația mișcării terenului, uneori completate de soluțiile planului de falie.

Acești parametri pot fi obținuți cu ușurință și au avantajul unor informații nerafinate dar rapide, ce vor fi oferite publicului și autorităților. În plus, această abordare oferă date standardizate pentru cataloagele de cutremure care se folosesc în cercetări importante, cum ar fi statistica cutremurelor și evaluarea riscului seismic.

Dar trebuie să fim conștienți că acești parametri simplificați, adesea pur empirici, nu pot oferi o descriere completă a naturii și geometriei reale a sursei seismice, a istoriei de timp și eliberării energiei seismice. Monitorizarea seismicității globale de către agențiile internaționale are ca scop estimarea rapidă și exactă a parametrilor de sursă în cazul

cutremurelor majore. Momentul seismic și energia seismică eliberate de sursele seismice pot acoperi un interval larg de valori ale magnitudinilor și intensităților relatează cu potențiale distrugerii.

În cele ce urmează, vom prezenta cei doi parametri, magnitudinea și intensitatea, care interesează atât specialiștii și autoritățile, cât și publicul larg, atunci când se produce un cutremur.

### ***Intensitatea macroseismică***

Efectul unei surse seismice poate fi caracterizat de intensitatea macroseismică a acesteia, *I*. Intensitatea descrie puterea zguduirii în termenii percepției umane, degradării sau avariilor clădirilor și a altor structuri, precum și schimbările din mediul înconjurător. *I* depinde de distanța de la sursă și de condițiile geologice ale terenului. Intensitatea seismică se referă la expunerea unei regiuni pentru o anumită perioadă de timp la energia undelor seismice înregistrate, și anume la impactul seismic. Impactul seismic poate fi cuantificat prin intermediul intensității, dar și prin parametrul duratei seismelor în punctul de observație, care definește magnitudinea de durată (aplicată și în prezent ca indicator energetic al impactului seismic).

Intensitatea seismică se clasifică în cea mai mare parte pe scările macroseismice de 12 grade. Excepțiile sunt, de exemplu, scalele de 7 grade ale Japoniei și Taiwan (Wu et al., 2003).

Giuseppe Mercalli, vulcanolog italian care a trait între 1850 și 1914 a pus bazele uneia din cele mai folosite scări de intensitate, Mercalli, care inițial avea 10 grade, fiind o îmbunătățire a scării de intensitate Rossi-Forel. În anii care au urmat, o serie de cercetători au adus completari acestei scări de intensitate, transformând-o în actuala Scară Mercalli Modificată (MMI). În 1904 Cancani a extins scara la 12 grade conectând fiecărui grad și valorile maxime ale accelerației mișcării terenului. Sieberg a continuat completarea cu analiza efectelor și cu descrierea degradărilor și avariilor suferite de clădiri care a fost acceptată ca o schemă internațională în 1917. De atunci este utilizată în lumea largă ca scara Mercalli-Cancani-Sieberg. Experții folosesc versiunea actualizată din 1964 a scării Mercalli, MSK-64 (Medvedev-Sponheuer-Karnik), care din 1990 a fost modificată în Scara Macro seismică Europeană (*European Macro seismic Scale*), EMS, pentru Europa.

Dintr-o analiză a repartiției în areal a rapoartelor despre cum a fost simțit cutremurul și a daunelor se poate estima intensitatea epicentrală,

$I_0$ , în zona sursă, precum și adâncimea sursei,  $h$ , (de exemplu, Sponheuer, 1960). Există relații empirice dintre  $I_0$  și alte măsurători determinate instrumental ale mărimii cutremurelor, cum ar fi viteza de vârf a terenului (PGV) și accelerația de vârf a terenului (PGA). Deși aceste relații conțin destul zgomot, s-a constatat că statisticile privind daunele cauzate de cutremure sunt mult mai strâns corelate cu PGV decât cu PGA (Wu et al., 2003). Iar  $I$  este cel mai bine corelată cu magnitudinea locală  $M_L$  și magnitudinea energiei  $M_e$ , cu condiția să se țină seama de efectul distanței dintre sursă și locul unde este observată.

### ***Magnitudinea cutremurelor***

Magnitudinile cutremurelor sunt calculate în următoarele scopuri:

– pentru a afla câtă energie seismică este eliberată și estima distrugerea după un cutremur

– pentru a exprima mărimea fizică a unui cutremur

– pentru a evalua mișcarea terenului și hazardul seismic

Prin urmare, calcularea magnitudinii este o sarcină de bază și esențială a oricărei rețele seismologice, atât la nivel global, cât și local. Atunci când are loc un cutremur, prima întrebare este despre „magnitudinea Richter” și a doua despre localizarea acestuia.

Magnitudinea este o măsură logaritmică a mărimii unui cutremur sau a unei explozii bazată pe măsurători instrumentale. Conceptul de magnitudine a fost propus inițial de Richter, în 1935. Împreună cu Beno Gutenberg, Charles Richter a elaborat scara de magnitudine Richter sau locală ( $M_L$ ). Aceasta reprezintă „logaritmul în baza 10 al amplitudinii maxime a undei seismice înregistrate pe un seismograf standard (Wood-Anderson) la o distanță de 100 km față de epicentrul cutremurului”. Ea saturează la cutremure cu magnitudinea mai mare de 7, deci nu cuantifică corect energia cutremurelor majore.

Japonezul Hiroo Kanamori a elaborat în 1979 scara magnitudinii din moment ( $M_w$ ). Aceasta permite o estimare mai bună a mărimii cutremurelor, datorită utilizării parametrului moment seismic. Magnitudinea din moment  $M_w$  este o mărime fizică elocventă a mărimii unui cutremur dar momentul seismic nu este disponibil pentru toate cutremurele, în general nu este disponibil pentru evenimentele seismice mici.

Momentul seismic  $M_0$  este o măsură a mărimii tectonice (produsul dintre arie și deplasarea medie statică) și prin urmare nu saturează, ținând

cont că este măsurat la perioade mai mari decât perioada de colț a spectrului radiat al sursei. Momentul seismic poate fi determinat din inversiunea tensorului moment (de la evenimente seismice mari la moderate) sau din analize spectrale. Dacă poate fi determinat un moment seismic adecvat, acesta este măsura statică cea mai obiectivă a mărimii cutremurului și este recomandat pentru determinarea magnitudinii din moment ori de câte ori este posibil.

Magnitudinea din moment a fost definită prin relația dintre energia seismică radiată, momentul seismic, energia și magnitudinea undelor de suprafață. Cu toate acestea, magnitudinea din moment nu reflectă în mod corect energia totală eliberată, deoarece scala magnitudinii de moment este definită ca o scădere constantă de stres și eliberarea de energie depinde de scăderea stresului. Prin urmare, magnitudinea din moment nu este mărimea cea mai adecvată pentru evaluarea riscului seismic în termenii potențialului de distrugere a mișcării terenului, însă este utilă pentru evaluarea potențialului tsunamigen al cutremure de subducție foarte mari.

Există câteva scări diferite de magnitudine care depind de rețeaua și distanța la evenimentul seismic și în estimarea magnitudinii unui cutremur pot fi folosite una sau mai multe scări.

Majoritatea scărilor de magnitudine se bazează pe măsurarea amplitudinii în funcție de timp, dar din ce în ce mai mult se folosesc estimările spectrale. Din cauza variației locale a atenuării și amplificării mișcării terenului la amplasament, precum și din cauza poziției stației față de patternul de radiație a sursei, pot apărea variații mari în amplitudinile măsurate. Acest lucru duce la o diferență destul de mare în estimările de magnitudine la stațiile individuale. Astfel, calcularea magnitudinii nu este exactă și în primele ore, care urmează unui cutremur, magnitudinea este revizuită de mai multe ori.

Alegerea scării de magnitudine este mai puțin importantă decât determinarea uniformă de magnitudine pentru toate cutremurele din baza de date. Nu există o limitare de scară a priori a magnitudinilor, așa cum există pentru scările de intensitate macroseismică. Cea mai mare magnitudine din moment,  $M_w$ , observată până în prezent, a fost cea a cutremurului din Chile din 1960 ( $M_w \approx 9,5$ , după Kanamori, 1977). În prezent, instrumentele extrem de sensibile din apropierea surselor seismice pot înregistra evenimente locale cu o magnitudine chiar mai mică de zero (de exemplu,  $M_w$  până la  $-4,4$  pentru seismicitatea indusă înregistrată în minele de aur, Kwiatek et al., 2010).

Caracteristicile celor două mărimi, magnitudine și intensitate sunt sistematizate în tabelul de mai jos (cf. incdfp<sup>2</sup>):

<b>Magnitudine</b>	<b>Intensitate</b>
- măsoară cantitatea de energie eliberată de un cutremur	- descrie efectele pe care le are un cutremur asupra mediului natural și antropic, precum și asupra oamenilor
- este o valoare cu un caracter obiectiv, determinată pe baza seismogramelor	- este o valoare cu caracter subiectiv, determinată pe baza observațiilor oamenilor cu privire la efectele cutremurului, în locul în care se află
- se exprimă prin cifre arabe, cu o zecimală, având o singură valoare pentru un cutremur. Aceasta valoare poate fi ușor diferită, în funcție de scara de magnitudine utilizată și de datele disponibile	- se exprima prin numere romane, cele mai folosite scări având valori de la I la XII. Pentru același cutremur vor fi valori de intensitate distincte în locuri diferite.
- cele mai utilizate scări de magnitudine sunt: <b>Richter (<math>M_r</math>)</b> Magnitudine-moment ( $M_w$ )	- cele mai utilizate scări de intensitate sunt: <b>Mercalli Modificată (MMI)</b> Medvedev–Sponheuer–Karnik (MSK–64)

### ***Relația magnitudinii cu energia seismică***

Magnitudinea este proporțională cu eliberarea de energie din timpul unui cutremur și acest lucru este exprimat prin relațiile empirice dintre magnitudine și energie. Cu relațiile empirice energie-magnitudine poate fi estimată energia seismică,  $E_s$ , radiată de sursa seismică sub formă de unde seismice.

Relațiile obișnuite sunt cele date de Gutenberg și Richter (1954, 1956a, b; Richter, 1958), dintre  $E_s$  și magnitudinea undelor de suprafață  $M_s$  sau magnitudinea undelor de volum  $m_b$ :  $\log E_s = 11,8 + 1,5 M_s$  și  $\log E_s = 5,8 + 2,4 m_b$  (atunci când  $E_s$  este dat în erg; 1 erg =  $10^{-7}$  Joule). Conform acestor relații, o schimbare a lui  $M_s$  sau  $m_b$  cu o unitate corespunde unei modificări în  $E_s$  cu un factor de aproximativ 32 de ori sau, respectiv, de 250 de ori.

Pe baza analizei înregistrărilor digitale există procedee directe de estimare a  $E_s$  (de exemplu, Purcaru și Berckhemer, 1978, Seidl și Berckhemer, 1982, Kanamori și colab., 1993, Choy și Boatwright, 1995) și definire a magnitudinii energiei,  $M_e$ .

<sup>2</sup> Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului

Cu ajutorul înregistrărilor digitale în bandă largă și cu programe rapide de calculator se calculează direct energia seismică,  $E_s$ , prin integrarea fluxului de energie radiată, din seismogramele cu pătratul vitezelor undelor seismice în funcție de durata procesului sursei, și aplicând corecții pentru efectele geometrice ale împrăștierii, atenuării și patternului de radiație.

Metoda calculării magnitudinii energiei  $M_e$  în forma sa actuală, așa cum este aplicată în mod curent la USGS pentru cutremurele mai puternice, a fost dezvoltată de Choy și Boatwright (1995). Alte câteva institute calculează în mod obișnuit  $M_e$  pentru cutremurele locale (Dineva et al., 2009). Calculul magnitudinii energiei nu este încă realizat în orice procedură standard și încă este foarte dificil să se măsoare în mod fiabil  $E_s$  pentru cutremurele moderate și slabe, de la nivel local și regional. Cu toate acestea, în prezent, sunt în curs de dezvoltare și testare rutine automate pentru determinarea on-line a  $M_e$ , în timp aproape real.

Deoarece cea mai mare parte a energiei seismice este concentrată la frecvențele mai înalte, în jurul frecvenței de colț,  $f_c$ , a spectrului radiat,  $M_e$  este o măsură foarte potrivită a potențialului distrugător al cutremurelor. În schimb, momentul seismic  $M_o$ , care este estimat din platoul amplitudinii de deplasare la frecvențele  $f \gg f_c$ , este legat de deplasarea statică finală după un cutremur și, prin urmare, magnitudinea din moment,  $M_w$ , este mai strâns legată de efectele tectonice ale unui cutremur (Bormann și Di Giacomo, 2011).

### Bibliografie:

- [1] Bormann, P., and D. Di Giacomo (2011). The moment magnitude  $M_w$  and the energy magnitude  $M_e$ : common roots and differences. *J. Seismology*, 15, 411–427; doi: 10.1007/s10950-010-9219-2.
- [2] Bormann, P., Wendt, S., and D. Di Giacomo (2013). Seismic Sources and Source Parameters. Version August 2013; DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2\_ch3.
- [3] Choy, G. L., and J. L. Boatwright (1995). Teleseismic and near-field analysis of the Nahanni earthquakes in the north-west territories. *Canada. Bull. Seism. Soc. Am.* 78. 1627–1652.
- [4] Dineva, S. and R. Mereu (2009). Energy magnitude: A case study for Southern Ontario/Western Quebec (Canada). *Seism. Res. Let.*, 80, 136–148.

- [5] Gutenberg, B., and Richter, C. F. (1954). Seismicity of the Earth and associated Phenomena. 2nd edition. *Princeton University Press*, 310 pp.
- [6] Gutenberg, B., and Richter, C. F. (1956a). Magnitude and energy of earthquakes. *Annali di Geofisica*, 9, 1–15.
- [7] Kanamori, H., Mori, J., Hauksson, E., Heaton, Th. H., Hutton, L. K., and Jones, L. M. (1993). Determination of earthquake energy release and ML using TERRASCOPE. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 2, 330–346.
- [8] Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.* 82, 2981–2987.
- [9] Kwiatek, G., Plenkers, K., Nakatani, M., Yabe, Y., Dresen, G., and JAGUARS-Group (2010). Frequency-magnitude characteristics down to magnitude -4.4 for induced seismicity recorded at Mponeng gold mine, South Africa. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 100(3), 1165–1173; doi: 10.1785/0120090277.
- [10] Purcaru, G., and Berckhemer, H. (1982). Quantitative relations of seismic source parameters and a classification of earthquakes. *Tectonophysics*, 84, 57–128.
- [11] Richter, C. F. (1958). Elementary seismology. *W. H. Freeman and Company*, San Francisco and London, viii + 768 pp.
- [12] Sandu, I. (2015). Influența parametrilor sursei seismice Vrancea și condițiilor de sol asupra efectului seismic în Republica Moldova. *Teză de doctor*, cu titlu de manuscris C.Z.U.:550.34 (478) (0.43.2).
- [13] Seidl, D., and Berckhemer, H. (1982). Determination of source moment and radiated seismic energy from broadband recordings. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 30, 209–213.
- [14] Sponheuer, W. (1960). Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. *Freiberger Forschungshefte C88. Akademie Verlag*, Berlin.
- [15] Wu, Y. M., Teng, T. L., Shin, T. C., and Hsiao, N. C. (2003). Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity, and intensity in Taiwan. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 1, 386–396.
- [16] \*\*\*Sursă internet: [http://twisterrob.uw.hu/peq/eng/attek\\_skala.htm#mcs](http://twisterrob.uw.hu/peq/eng/attek_skala.htm#mcs)