

UNDELE SEISMICE – SEMNALE FOLOSITE PENTRU ESTIMAREA PARAMETRILOR SURSEI SEISMICE

Mirela-Adriana ANGHELACHE¹

mirelaadrianaa@yahoo.com

ABSTRACT: The work of the seismologist is laborious but interesting and involves, among others, complex and detailed assessments of seismic sources, so useful to specialists in various fields of geosciences, engineering and more. Seismic waves emerging from an earthquake transmit its energy in the form of vibrations, which travel through the interior of the globe to the surface. The basic processing task of seismology is to determine the arrival times of seismic phases. Phase reading provides basic information to improve the earth structure model, but also about the characteristics of a seismic event. The details of the earthquake characteristics, namely the seismic parameters, determine the location, magnitude and depth of the earthquakes, give solution of the focal mechanisms and thus estimate the level of stress for a certain region, the local or regional tectonics being observed. No doubt, that phase reading is done more or less automatically, especially for the first phases, but only the trained eye of the specialist can accurately discern the seismic parameters that describe an earthquake. Some basic notions about seismic waves, their phases, recommendations for phase readings and how to determine the essential seismic parameters are interesting notions not only for specialists, but also for the general public.

KEYWORDS: seismic waves: S, P, Rayleigh, Love; seismic phases; seismic parameters

Principalele unde seismice

Undele seismice sunt vibrații care se propagă și care transportă energia de la sursa cutremurului prin globul terestru. Pe măsură ce se propagă

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

în interiorul globului terestru undele seismice interacționează cu structura internă a planetei și se:

- refractă – schimbă direcția la interfața dintre strate;²
- reflectă la interfața dintre strate (ecou);
- dispersează – se împrăștie în timp (seismograma se lungeste);
- atenuează – scade amplitudinea undei;
- difractă – scurgere non-geometrică a energiei undei;
- împrăștie – împrăștieri multiple;

Undele seismice pot fi denumite după traiectoriile pe care le urmează prin globul terestru.

Undele de suprafață sunt undele Love și undele Rayleigh. Undele de volum sunt undele P și undele S, care se propagă prin interiorul Pământului.

Undele de volum au următoarele caracteristici:

- amplitudini mici;
- lungimi de undă scurte;
- bandă de frecvență îngustă;
- călătoresc mai rapid;
- sunt produse de toate tipurile de cutremure.

Undele de suprafață au următoarele caracteristici:

- amplitudini mari;
- lungimi de undă mari;
- un interval larg de frecvențe (bandă de frecvență largă);
- se propagă încet;

Un alt mod de a identifica undele seismice este acela de a diferenția între tipul de deformări pe care îl induc.

Undele de compresiune produc schimbări în volum:

- unde Rayleigh (unde de compresiune de suprafață);
- unde P (unde de volum de compresiune).

Undele de forfecare produc schimbări în formă:

- unde Love (unde de forfecare de suprafață);

² Plural folosit în geologie.

– unde S (unde de volum de forfecare).

Undele P sunt denumite unde „primare” pentru că acestea călătoresc cel mai rapid și sunt primele unde care ajung la stația seismică. De asemenea, ele călătoresc prin toate tipurile de materiale: solide, lichide, gaze. În interiorul globului terestru undele P călătoresc cu viteze până la 14 km/s. În crusta superioară (adâncime mai mică de 15 km), viteza lor este de obicei de 6 km/s. Vitezele undelor depind de tipul de rocă traversată. Materialul traversat de o undă P este suferă o deformare de compresiune alternând cu expansiune. Pământul este deformat de-a lungul direcției pe care unda se propagă.

Undele Rayleigh sunt unde de suprafață, de compresiune, sunt cele mai complexe unde și de asemenea cele mai încete. Acestea se propagă într-un plan vertical, radial. Mișcarea particulelor este polarizată eliptic și este orientată invers față de direcția de propagare a undei. Viteza lor este în jur de 3,5–4,5 km/s. Au fost descoperite de A.E.H. Love (1863–1940).

Undele S sunt denumite unde „secundare”, situându-se pe al doilea loc în funcție de viteza cu care circulă în interiorul globului terestru. Acestea se propagă prin solide, dar nu și prin lichide sau gaze, cu viteze până la 8 km/s. De asemenea, vitezele lor depind de tipul de rocă, iar în crusta superioară viteza lor este în jur de 3,5 km/s. Acestea sunt deseori cele mai puternice unde și provoacă cea mai mare distrugere.

Undele Love sunt unde de suprafață de forfecare și sunt cele mai rapide unde de suprafață. Mișcarea solului are loc în lateral, dintr-o parte în alta, dar nu și pe direcție verticală. Undele Love se propagă într-un plan orizontal, mișcarea particulelor având loc transversal pe direcția undei. Viteza lor este tot în jur de 3,5–4,5 km/s. Au fost descoperite de Lord Rayleigh (1842–1919).

Undele de suprafață sosesc întotdeauna după undele S.

Nomenclatura undelor seismice

Datorită structurii interne a globului terestru, undele seismice pot călători pe mai multe căi între sursă și stație, după cum este ilustrat în figura de mai jos. Figura arată cele mai importante faze observate:

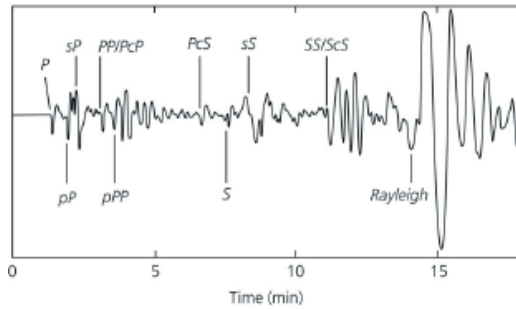
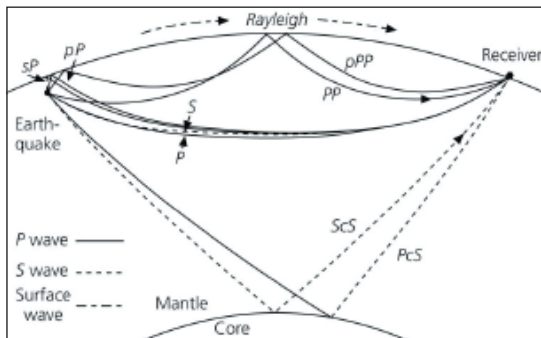


Fig. nr. 1 – Seismogramă de perioadă lungă (componenta Z) care arată fazele globale tipice.

Jos: Traseele undelor a câtorva dintre fazele văzute în seismogramă. Fazele P sunt reprezentate prin linii solide, iar fazele S cu linii punctate. Fazele P și S nu se propagă exact pe același traseu, deoarece raportul vitezelor nu este constant.



(Figura este din *Stein și Wysession (2003)* și este preluată de la http://epscx.wustl.edu/seismology/book/book_no_captions/figures/)

Pentru a sistematiza fazele undelor seismice se aplică câteva nomenclaturi de faze:

P: undă de compresiune

S: undă de forfecare

K: undă P prin nucleul exterior

I: undă P prin nucleul interior

PP and SS: undă P sau S reflectată o dată la suprafață

PPP: undă P reflectată de două ori la suprafață etc.

SP and PS: S transformată în P sau P transformată în S în timpul reflexiei la suprafață

pP, pS, sS or sP: undă P sau S propagată de la focar și reflectată sau transformată la suprafață

c: denotă reflexii la interfața nucleu-manta

Pdif: undă P dispersată de-a lungul interfeței manta-nucleu

Fig. nr. 1 arată doar câteva dintre posibilități, în timp ce figura 3 arată o imagine mai detaliată a celor mai comune unde de volum. La distanțe mai mari de 103° nu mai există o undă P directă din cauza nucleului globului terestru și doar de la 140° va apărea din nou, P trecând prin nucleu (fazele PKP). Intervalul distanțelor dintre 103° și 140° este numit prin urmare zonă de umbră și doar undele P, Pdif, difractate în jurul nucleului (Fig. 2) vor fi văzute ca sosiri directe (și corespunzătoare cu S).

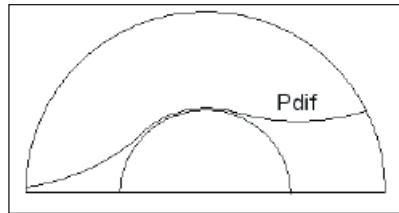


Fig. nr. 2 – faza Pdif (din Jens, 2009). Unda P difractată în jurul nucleului care va fi văzută ca sosiri directe (și corespunzătoare pentru S).



Fig. nr. 3 – Exemple de faze ale undelor de volum la o scară globală. (Figura este din Stein și Wysession (2003) și preluată de la http://epscx.wustl.edu/seismology/book/book_no_captions/figures/.)

Aceste nomenclaturi de faze și alte câteva se pot combina la nesfârșit pentru undele seismice.

IASPEI³ a postat o listă revizuită a fazelor care pot fi găsite pe pagina ISC⁴, la adresa online www.isc.ac.uk. Modul cum a fost gândită această listă nouă de faze este publicat în Storchak et al., (2003), și conține figuri cu diferite trasee ale undelor seismice. În plus, față de ceea ce poate fi etichetat ca faze globale, există o serie de faze locale unde traseul de propagare este aproximat prin intermediul unui pământ plan cu strate paralele (Fig. nr. 4).

Dăm câteva exemple de combinații:

PcP – o undă P care se reflectă la granița nucleu manta (CMB)

PmP – o undă P care se reflectă la Moho

PP – o undă P care ricoșează la suprafața Pământului la mijlocul distanței dintre cutremur și seismometru.

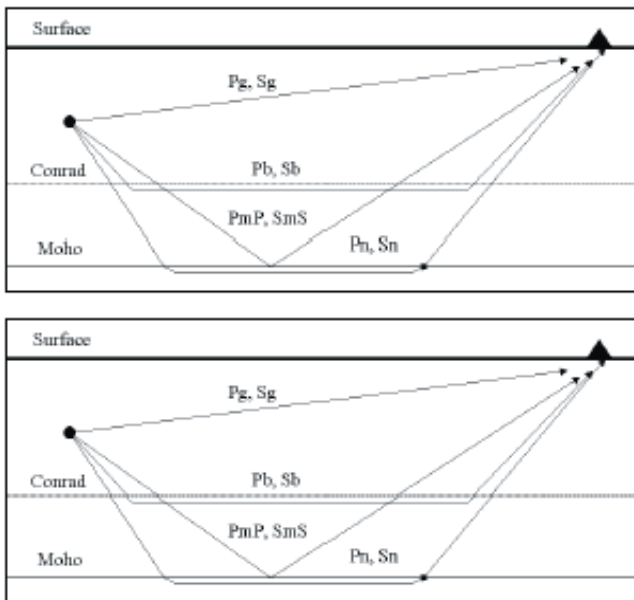


Fig. nr. 4 – Un model simplificat de crustă care arată cele mai importante faze de cruste observate la distanțe locale și regionale (din NMSOP).

³ The International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior

⁴ The International Seismological Centre

Alte exemple:

Conform IASPEI, sosirile de unde seismice sau fazele pot fi clasificate astfel:

Faze crustale: Pg Pb Pn Pb Sg Sb etc

Faze de manta: P PP PS PPS S SS etc

Faze de nucleu: PKP PKPab PKPab PKPab S'P SKP etc

Reflectări la suprafață în apropiere de sursă (faze de adâncime):

Ppy sPy pSy sSy pwPy pmPy etc

Unde de suprafață:

L LQ LR G GN R RN PL SPL

Faze acustice: H HPg Hsg I IRg T TPg TSg TRg etc

Sosiri neidentificate: x rx tx Px Sx.

La undele de volum crustale se adaugă undele crustale de suprafață. Cea mai importantă este unda Lg care urmează sosirii de undă Sg. Lg se propagă ca o undă ghidată reflectată de mai multe ori în crustă cu o viteză tipică de 3,5 km/s și o frecvență de 1 Hz. Este înregistrată de la 100 la 1000 km distanță, iar pe seismogramele regionale are cea mai ridicată amplitudine. Evenimentele din apropierea suprafeței, în particular exploziile sau prăbușirile de roci, produc unde de suprafață de perioadă scurtă de tip Rayleigh, care se notează Rg și care se propagă cu viteza de 3 km/s, v. Fig. 5. Dacă viteza este mai mică de 1 km/s, unda Rg, mai degrabă monotonă, poate domina seismograma și este un indicator bun al sursei puțin adânci. Rg este limitată la distanțe de câteva sute de km, din cauza atenuării ridicate.

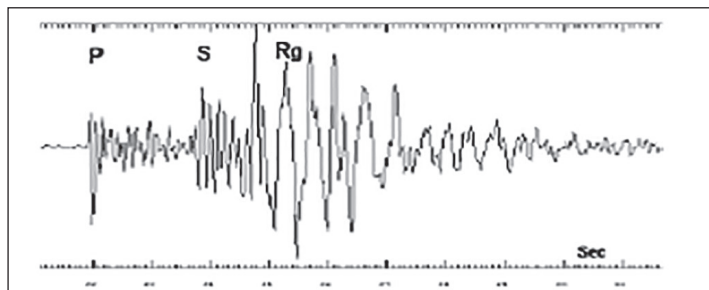


Fig. nr. 5 – Exemplu de unde Hg (faze acustice) pentru o explozie locală (din Jens, 2009). Stația este componenta verticală ASK, timpul de origine este 1990 12 13 11:09, magnitudinea M_L este 0,6 și distanța epicentrală este de 16 km. Încărcătura de explozibil a fost de 220 kg și detonată în apă.

În Fig. nr. 5 se observă de asemenea unde seismice la mai mult timp după apariția undelor Rg. Ele sunt așa numitele unde coda și sunt constituite mai mult din unde S împrăștiate de către neomogenitățile din crustă. Acest lucru înseamnă că undele pot ajunge la stație din toate direcțiile și e posibil să fi fost împrăștiate de mai multe ori, deși cel mai obișnuit model este acela a unei singure împrăștieri. De asemenea, între sosirile de undă P și S se pot vedea unde P împrăștiate.

Undele T sunt unde P ghidate de frecvență înaltă ($> 1\text{Hz}$) închise într-un strat de apă de viteză redusă, care se propagă cu o viteză în jur de $1,5\text{ km/s}$ și sunt înregistrate la seismografele de pe fundul oceanului sau la seismografele din apropierea coastei (v. Fig.6). Din cauza atenuării scăzute, undele T pot călători pe distanțe mari ($> 2000\text{ km}$).

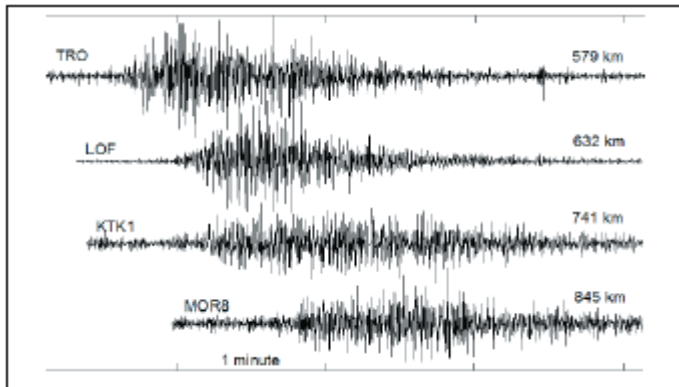


Fig. nr. 6 – Unde T la 4 stații din rețeaua națională seismică norvegiană (din Jens, 2009)

Semnalele sunt filtrate în intervalul $5\text{--}10\text{ Hz}$. Timpul de origine este 1997 10 06 23:45, M_L este 3,2 (BER) și mb 4,7 (ISC). Adâncimea a fost estimată la 10 km .

Identificarea sosirilor diferitelor unde seismice. Citiri pe seismograme

Sosirile de undă sunt înregistrate cu ajutorul unui dispozitiv foarte sensibil, și anume seismometrul, care realizează seismograme, grafice în care se pot citi sosirile de undă într-un anumit interval de timp.

Undele seismice sunt identificate prin secvența de timp a sosirilor și de asemenea prin amplitudinea lor. Prima sosire de undă este întotdeauna

o undă P și mișcarea sa într-un mediu infinit (suprafață liberă) se face întotdeauna în direcția undei, de la sursă spre stație. Mișcarea este fie împingere de la sursă, fie tragere înapoi spre sursă. Dacă prima mișcare este împingere sau tragere depinde de inițierea mișcării undei P generate de sursă, dar și de schimbările care apar datorită reflexiilor de la interfețele dintre strate (de ex. faza Pp).

Seismogramele N-S, E-V se rotesc pentru a crea seismograme verticale, radiale și transversale. Interpretarea sosirilor seismice este mult mai simplă atunci când se studiază istoriile de timp radiale și transversale, decât atunci când se lucrează cu componentele lor, N-S, E-V. Seismogramele arată cele trei mișcări pe direcțiile: N vs. E (plan orizontal), Z vs. E (plan vertical) and Z vs. N (plan vertical), mișcarea va fi în general liniară și nu un cerc sau eliptică.

Graficul N vs. E va indica direcția de propagare a undei la stație, de ex., pe seismogramă graficul va arăta o linie prin origine. La acest moment se poate spune că direcția corespunde doar direcției cercului mare dintre sursa semnalului și stație.

Pentru a rezolva ambiguitatea direcției spre sursa cutremurului se folosește mișcarea componentei verticale și regula:

– dacă terenul se mișcă în sus, mișcarea undei P este de împingere de la sursă

– dacă terenul se mișcă în jos, mișcarea undei P este de împingere spre sursă.

Astfel se poate stabili direcția de la amplasamentul seismografelor către sursă.

Pe seismogramele de bandă largă pentru cutremurele crustale, sosirile care au cele mai mari amplitudini sunt cele ale undelor de suprafață. Datorită amplitudinii lor mari, ele au fost notate cu *M* sau faza principală în nomenclatura de seismologie timpurie.

Unda Rayleigh apare ultima și este văzută pe diagramele orizontale și verticale. Mișcarea undei Love este pur orizontală. Pe un grafic N-S al mișcării particulelor, mișcarea undei Love va fi perpendiculară pe direcția de propagare a undelor și mișcarea undei Rayleigh va fi paralelă. Dar mișcarea N-S a particulelor nu poate rezolva direcția de propagare deoarece poate fi și în direcția opusă. Doar mișcarea eliptică retrogradă a undei Rayleigh poate rezolva direcția de propagare.

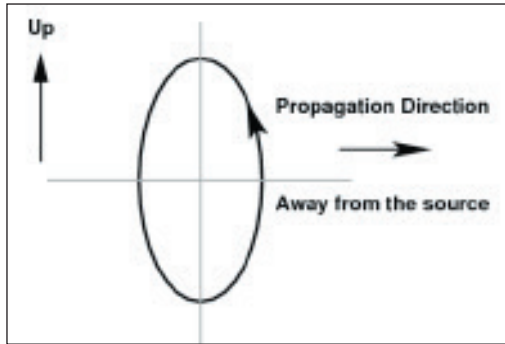


Fig. nr. 7. Schemă a mișcării undei Rayleigh (din Herrmann). Săgeata indică direcția mișcării pe măsură ce timpul crește. Aceasta este o elipsă. Seriile de timp corespunzătoare vor arăta un maxim al componentei orizontale atunci când mișcarea verticală este zero.

Câteva recomandări pentru citirile de fază:

- se citesc doar fazele clare dacă este posibil (doar dacă e nevoie de localizare se folosesc fazele neclare).

- se citesc fazele nefiltrate dacă este posibil, datele de bandă largă trebuie filtrate în multe cazuri: înregistrările de perioadă scurtă sunt deja filtrate trece perioadă înaltă, în timp ce înregistrările de perioadă lungă sunt filtrate trece perioadă scurtă.

- se citesc fazele P pe componenta verticală și fazele S pe componenta orizontală.

- primele sosiri de fază P și S trebuie etichetate doar P și S chiar dacă pot fi P_g , P_n , PKP, deoarece este dificil să se cunoască de la început tipul fazei, iar programele de localizare vor folosi primele sosiri calculate. Calculele mai avansate pot cere denumiri de fază (de ex. P_{dif} , PKP).

Algoritmi de calcul ai soluțiilor mecanismului din focar

Datorită existenței înregistrărilor tip analog și digital se aplică doi algoritmi de calcul ai soluțiilor mecanismului din focar, definind două metode (Bock, 2002; Baumbach et al., 2002):

- *Metoda polarității primelor semnale (unde de volum, P) – cu sursa punctiformă;*

- *Metoda inversiei tensorului moment seismic (seismograma completă) – cu sursa finită.*

Metoda polarității primelor semnale (undele de volum, P) – cu sursa punctiformă

Analiza primelor sosiri de undă P în urma unui cutremur sunt folosite de către seismologi pentru a caracteriza sursa seismică. Mecanismele din focar sau soluțiile planelor focale, respectiv deducerea tectonicii unei regiuni, sunt determinate pe baza înregistrărilor teleseismelor, iar la ora actuală se acordă o mare importanță prin observarea la o scară mai mare a tectonicii locale și regionale.

Orientările planelor de falie și direcțiile de alunecare ale compartimentelor faliei pot furniza informații importante despre structura faliei în adâncime și despre câmpul de eforturi în care se produc cutremurele. Pentru cutremurele cu $M \geq 4,5$ proprietățile sursei cutremurului pot fi deseori găsite prin inversia formelor de undă seismică de bandă largă sau din observații geofizice. Totuși, marea majoritate a cutremurelor înregistrată de rețelele seismice locale și regionale este de magnitudine prea scăzută pentru a fi descrise cu această tehnică. Datorită frecvenței lor de apariție, aceste cutremure de magnitudine scăzută sunt în mod particular importante pentru caracterizarea tectonicii regionale și pentru stabilirea orientărilor stresului.

Sursa unui cutremur de magnitudine scăzută este aproximată de regulă printr-o sursă punctuală dublu-cuplu sau un mecanism din focar, dedusă din polaritățile primelor sosiri de undă P. Un mecanism din focar divide o sferă de referință din jurul sursei în 4 cvadrantți, doi în care primele sosiri de undă se îndepărtează de sursă și doi în care acestea sunt spre sursă. Polarităților primelor sosiri observate la stațiile seismice și poziția sferei focale pentru fiecare observație, dată de azimutul și unghiul de ieșire sub care unda părăsește sursa, sunt calculate pentru o localizare ipotetică și un model de seismicitate-viteză. Mecanismul din focar care aproximează cel mai bine soluția pentru un anumit tip de ruptură depinde de observațiile primelor sosiri ale undelor P și, de asemenea, de localizarea presupusă a cutremurului și alegerea modelului de seismicitate-viteză, ambele afectând poziția calculată a undelor pe sfera focală. Cea mai bună aproximare a mecanismului din focar datorată schimbărilor în polarități și în unghiurile de ieșire este complexă și neliniară și poate depinde de alți factori, cum ar fi acoperirea stațiilor și adâncimea unde s-a produs cutremurul.

Observațiile primelor sosiri de obicei sunt împărțite de către cercetători în 2 clase: 1) impulsive, pentru care polaritățile sunt ușor de

determinat; 2) emergente, pentru care polaritățile sunt mult mai neclare. Observațiile polarității impulsive sunt de calitate mai ridicată, totuși pot să conțină erori. Schimbările în localizarea cutremurului pot de asemenea să modifice poziția calculată a undelor pe sfera focală și, prin urmare, cea mai bună soluție a mecanismului din focar.

Modelul Seismicitate-Viteză

Distribuția calculată pe sfera focală, a celei mai bune soluții pentru mecanismul din focar, este de asemenea dependentă de alegerea modelului seismicitate-viteză. Mecanismele din focar sunt mult mai sensibile la schimbarea în modelul de seismicitate-viteză decât la schimbarea în adâncimea sursei.

O altă metoda de a îmbunătăți estimarea celui mai probabil mecanism din focar constă în a include și alte date, pe lângă polaritățile undelor P. Raportul dintre amplitudinile undelor S și P, care variază sistematic în sfera focală, a fost anterior folosit pentru a determina mecanismele din focar (de ex. Kisslinger *et al.*, 1981; DeNatale *et al.*, 1991; Rau *et al.*, 1996; Shen *et al.*, 1997).

Variația sistematică a raportului amplitudinilor undelor S și P este invers corelată cu distanța sursă-stație. Se admite de regulă că undele de frecvență înaltă sunt puternic atenuate în crustă. Folosirea rapoartelor amplitudinilor S-P este mult mai practică în cazul datelor de bandă largă.

Polaritățile undelor S au fost de asemenea folosite pentru a determina mecanismele din focar (de ex. Nakamura și Yoshida, 2000). Mecanismele din focar sunt mult mai sensibile la gradientul vitezelor verticale și mai puțin la mărimea vitezei seismice și adâncimea sursei.

E posibil ca evenimentele mai puțin adânci să nu fie la fel de bine determinate ca evenimentele seismice adânci din cauza susceptibilității ridicate la erorile de localizare, dar și din cauza gradului ridicat de eterogenitate.

Dacă există o rețea de stații seismice care surprinde foarte bine un cutremur dintr-o regiune pentru care structura Pământului (prin viteza seismică) este bine determinată, atunci cu primele sosiri de undă ale undelor P impulsive se poate obține o estimare foarte bună pentru soluția planelor de falie⁵ a evenimentului seismic.

⁵ mecanism din focar

Însă, densitatea stațiilor este de obicei scăzută, structura vitezelor este cunoscută doar aproximativ și polaritățile primelor sosiri sunt deseori neclare. De aceea, se poate întâmpla să fie găsite mai multe soluții ale mecanismelor din focar care să corespundă datelor. În general, cu cât datele sunt mai sporadice, cu atât se pot obține un număr mai ridicat de soluții pentru focar. De multe ori, intervalul soluțiilor posibile poate fi mai bine definit dacă se poate citi până la 10 % din amplitudinile P și S din seismogramele componentelor verticale. Dacă se obțin date din seismogramele celor trei componente, raportul dintre amplitudinile SH (componenta orizontală) și P oferă date aproape independente. Pentru unele evenimente se poate observa că polaritățile SH și/sau SV (componenta verticală) la una sau mai multe stații și raportul amplitudinilor SV/SH poate fi mai bine stabilit decât un raport care include P. Polaritățile și amplitudinile SV trebuie folosite cu atenție.

Kisslinger și coautorii (1980, 1981, 1982) au descris procedurile pentru utilizarea raporturilor amplitudinilor componentelor verticale SV/P înregistrate de rețelele locale și regionale pentru a determina mecanismele din focar. Accentul a fost pus pe componentele verticale, deoarece la acel moment cele mai multe rețele foloseau seismografe cu o singură componentă și înregistrări analogice.

Metoda inversiei tensorului moment seismic (seismograma completă) – cu sursa finită

Tensorul momentului centroid descrie complet forțele care acționează în timpul rupturii unei falii. În prezent există mai multe concepții care descriu sursa teoretică echivalentă a focarelor cutremurelor. Dintre acestea sunt de remarcat două concepții fundamentale: una care utilizează cuplul simplu și alta care utilizează cuplul dublu. O parte din fundamentările fizico-matematice ale celor două concepții presupune că focarele sunt surse concentrate (punctiforme), iar alta consideră că forțele activează într-un volum sau pe o suprafață și admit propagarea cuplului simplu sau cuplului dublu de-a lungul suprafeței care reprezintă planul (suprafața) de rupere. În cadrul ambelor concepții, câmpul deplasărilor este caracterizat de undele longitudinale prin două plane nodale reciproc perpendiculare, dintre care unul coincide cu planul de falie.

Dacă se consideră ruptura faliei drept un proces de forfecare pură, atunci modelul forțelor care acționează asupra unei surse punctuale echivalente se reduce la cuplul dublu.

Pentru a determina mecanismul din focar al hipocentrului cutremurului, sursa seismică este modelată ca un punct, deși ruptura are loc pe un plan, și relaxarea este a unui volum, folosindu-se modelul radial de propagare a primelor unde P.

De asemenea, modelul radial al propagării undelor P este folosit pentru construirea grafică a geometriei rupturii din timpul unui cutremur prin așa-zisele simboluri numite „mecanisme din focar” sau „beach balls” care dau azimutul și direcția alunecării. Imaginea stereografică permite aflarea sensului relativ de mișcare a compartimentelor care a generat cutremurul. Atunci când a putut fi precizat planul activ, și pentru aceasta se folosesc și date structurale de ordin tectonic, se spune că a fost determinat mecanismul în focar sau că a fost găsită *soluția focarului*.

Indicații privind aflarea soluției planelor de falie folosind date globale

Dacă sunt disponibile date ISC, prima abordare este să fie folosite doar polaritățile raportate. Dacă nu sunt disponibile suficiente date de la ISC pot fi folosite seismogramele originale, fie analogice pentru datele vechi, fie digitale pentru datele mai noi. În ambele cazuri procedeul pentru realizarea soluției planelor de falie sunt similare:

- se încarcă datele undelor de la un centru de date internațional.
- se obține localizarea hipocentrului de la o agenție, și dacă se folosesc doar datele parametrilor, de asemenea se obțin toate datele parametrice: timpii de sosire și polaritățile de la toate fazele.
- se pun datele în sistemul de procesare, iar adâncimea trebuie să fie corectă. În general, epicentrul trebuie să fie corect estimat. Se pot lua în considerare și alte date pentru o localizare mai bună.
- se citesc polaritățile dacă se folosesc date digitale, se folosesc distanțe mai mici de 90° pentru a evita observațiile nesigure. Distanțele mai mici de 30° trebuie folosite cu precauție.
- se face localizarea pentru a vă asigura că polaritățile P au fost corect identificate (ceea este considerat P poate fi pP sau PP).
- se determină soluțiile planelor de falie printr-o căutare computerizată cu spațiere, se încearcă cu mai multe combinații ale mărimii spațierii și cu un număr acceptabil de erori.
- se compara cu alte soluții și, dacă este posibil, se evaluează calitatea.

În loc de concluzii

În loc de concluzii, mă voi referi la importanța undelor seismice pentru știință și nu numai: așa cum am punctat în acest articol, interpretarea citirilor sosirilor de undă de pe seismograme oferă informații detaliate despre parametrii seismici ai unui cutremur. Cu acești parametri se pot întocmi baze de date (de ex. cataloage seismice) cu ajutorul cărora se pot face analize statistice și probabilistice necesare analizelor de hazard și risc seismic cu importante implicații economice și sociale, de prevenire a dezastrelor în caz de cutremur; dar și modele de predicții pe termen scurt sau de avertizare timpurie (de ex., în caz de tsunami).

Prin aflare soluției mecanismului din focar se poate urmări evoluția tectonicii locale sau regionale, estimându-se nivelul de stres tectonic. Tot citirile sosirilor de undă ne ajută la diferențierea cutremurelor provocate de explozii, indiferent de natura lor – antropică (bombe) sau naturală (impact asteroizi) – de cutremurele de pământ. Monitorizând exploziile provocate de bombe se poate afla dacă unele țări încălcă acorduri de pace și se pot lua la nivel internațional măsuri de sancționare a lor.

Să nu uităm că descoperirea zăcămintelor de resurse naturale (petrol, gaze etc.) se bazează și pe tomografia seismică.

Nu în ultimul rând, citirile sosirilor de undă se folosesc în cercetarea fundamentală privind structura internă a Pământului sau îmbunătățirea teoriei mișcării plăcilor tectonice.

Bibliografie:

- [1] Baumbach M., Grosser H., (2002). *Determination of fault-plane solutions*, NMSOP, vol. 1, Potsdam: IASPEI, 58–70.
- [2] Bock G., (2002). *Source parameters and moment-tensor solutions*, NMSOP, vol. 1, Potsdam: IASPEI, 71–81.
- [3] DeNatale, G., A. Ferraro, and J. Virieux (1991). *A probability method for local earthquake focal mechanisms*, Geophys. Res. Lett. 18, 613–616.
- [4] Herrmann, R.B. *Introduction to Earthquake Seismology*. EASA–462, <http://www.eas.slu.edu>.
- [5] Jens Havskov and Lars Ottemöller (2009). *Processing Earthquake Data*.
- [6] Kisslinger, C. (1980). *Applications of S to P amplitude ratios for determining focal mechanisms from regional network observations*, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 999–1014.

- [7] Kisslinger, C., J. R. Bowman, and K. Koch (1981). *Procedures for computing focal mechanisms from local (SV/P) data*, Bull. Seism. Soc. Am. 71, 1719–1729.
- [8] Kisslinger, C., J. R. Bowman, and K. Koch (1982). *Determination of focal mechanisms from (SV=P) amplitude ratios at small distances*, Phys. Earth and Planet. Inter., 30, 172–176.
- [9] Nakamura, M., and A. Yoshida (2000). *Determination of focal mechanism solutions using initial motion polarity of P and S waves*, EOS 81, F870.
- [10] New Manual of Seismological Observatory Practice, NMOSP (2002), revised version, electronically published 2009.
- [11] Rau, R.-J., F. T. Wu, and T.-C. Shin (1996). *Regional network focal mechanism determination using 3D velocity model and SH/P amplitude ratio*, Bull. Seism. Soc. Am. 86, 1270–1283.
- [12] Shen, Y., D. W. Forsyth, J. Conder, and L. M. Dorman (1997). *Investigation of microearthquake activity following an intraplane teleseismic swarm on the west flank of the Southern East Pacific Rise*, J. Geophys. Res. 102, 459–475.
- [13] Stein, S., and Wyssession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*, Blackwell Publishing, <http://epsc.wustl.edu/seismology/book/>.
- [14] Storchak, D.A., Schweitzer, J., Borman, P. (2003). *The IASPEI Standard Seismic Phase List*, Seismological Research Letters (2003) 74 (6): 761–772.

Surse internet:

- [15] http://epscx.wustl.edu/seismology/book/book_no_captions/figures/
- [16] <http://www.eas.slu.edu>
- [17] <https://mobee.infp.ro/despre-cutremure/caracteristicile-cutremurelor>