

1. Noțiuni de seismologie inginerască

1.1. Introducere

În medie peste 10000 de persoane au decedat anual din cauza cutremurelor de pământ în secolul 20 (Bolt, 2001, vezi Figura 1.1). Chiar dacă structurile proiectate și construite conform standardelor moderne de proiectare antisismică sunt în general mult mai sigure, eliminând la maxim pierderile de vieți omenești, pierderile economice în urma cutremurelor de pământ sunt în creștere la nivel mondial. Două exemple notorii sunt cutremurul din 1994 de la Northridge (SUA), cu pierderi estimate la 40 miliarde dolari americani, și cel din 1995 de la Kobe (Japonia), soldat cu pierderi de aproximativ 100 miliarde dolari americani (Scawthorn, 2003).

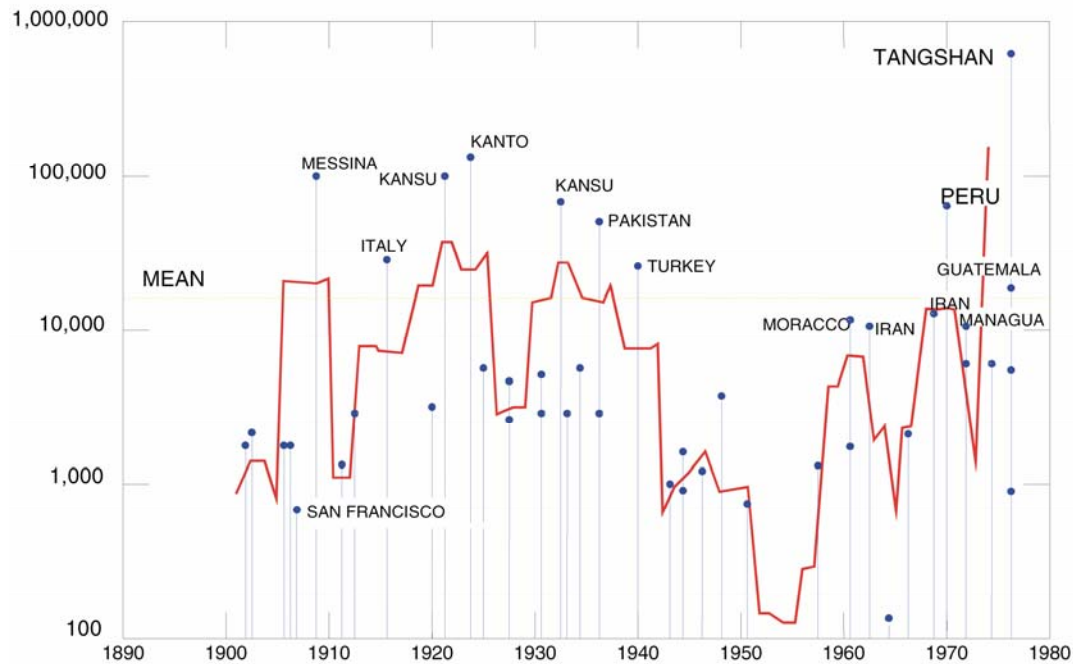


Figura 1.1. Pierderi de vieți omenești datorate cutremurelor majore în secolul 20 (Bolt, 2001).

Ingineria seismică este un domeniu al ingineriei care are ca scop reducerea efectelor cutremurelor de pământ asupra construcțiilor ingineresti. Aceasta cuprinde diverse aspecte, printre care: (1) studierea acelor aspecte ale seismologiei și geologiei care sunt importante pentru problemă, (2) analiza răspunsului dinamic al structurilor sub acțiunea mișcării seismice și (3) dezvoltarea și aplicarea unor metode de planificare, proiectare și execuție a construcțiilor rezistente la efectul cutremurelor de pământ. Ingineria seismică se întrepătrunde cu geostiințele pe de o parte, și cu științele sociale, arhitectura și autoritățile pe de altă parte.

Seismologia este o ramură a geostiințelor care studiază vibrațiile create de surse naturale precum cutremurele de pământ și erupțiile vulcanice, precum și sursele artificiale precum exploziile subterane. **Seismologia inginerască** are ca obiectiv explicarea și prezicerea mișcărilor seismice puternice dintr-un amplasament și studiul caracteristicilor mișcării seismice care sunt importante pentru răspunsul structurilor ingineresti.

Pionerul cercetărilor moderne de seismologie a fost inginerul irlandez Robert Mallet, care a întreprins studii de teren temeinice după cutremurul Neapoletan din 1857 (Italia). Acesta a explicat "masele dislocate de piatră și mortar" folosind termeni și principii ale mecanicii, și a introdus în acest mod un vocabular de bază, ca de exemplu noțiunile de seismologie, hipocentru, isoseismic.

Inginerii constructori sunt interesați de mișcările seismice puternice, care pot produce distrugerii semnificative asupra construcțiilor. Cu toate acestea, primii 60 de ani ai secolului 20 au fost

marcați de cercetări seismologice ale undelor seismice de la cutremure îndepărtate folosind seismografe foarte sensibile. Aceste aparate nu erau potrivite pentru cutremure mai rare și mai puternice, relevante pentru practica ingierească.

Ulterior, situația s-a schimbat. După cutremurul San Fernando din 1971 au fost obținute sute de înregistrări seismice puternice pentru acest seism de magnitudine 6.5 din SUA. Cercetările privind mișcările seismice puternice au început să avanseze rapid odată cu instalarea în zonele seismice de pe glob a unor rețele dezvoltate de accelerometre digitale și obținerea de înregistrări seismice în urma unor cutremure majore.

1.2. Activitatea seismică la nivel mondial

Analiza înregistrărilor seismice de la diferite observatoare seismografice permite determinarea poziției cutremurelor de pământ. În acest mod, s-a obținut o imagine de ansamblu a distribuției seismelor pe pământ (vezi Figura 1.2). Centuri cu o activitate seismică ridicată delimitează zone continentale și oceanice întinse. În centura circumpacifică de exemplu au loc aproximativ 81% din cutremurele majore de pe pământ. Alte 17% din cutremurele majore sunt localizate de-a lungul centurii Alpide (care se întinde de la oceanul Atlantic până la insulele Sumatra din oceanul Pacific și include munții Alpi, Carpații, munții din Anatolia și Iran, Hindu Kush, Himalaia, și munții din Asia de sud-est). În interiorul zonelor continentale și oceanice cutremurele de pământ sunt mult mai rare, dar nu lipsesc în totalitate. Alte concentrări de activități seismice pot fi observate în zonele oceanice, cum ar fi cele din mijlocul oceanului Atlantic și ale oceanului Indian. Lanțuri de munți submarini se află în aceste zone, iar erupțiile vulcanice sunt frecvente. Concentrări masive de cutremure de mare adâncime, de până a 680 km, pot fi observate în lanțurile de insule din oceanul Pacific și Caraibele de est.

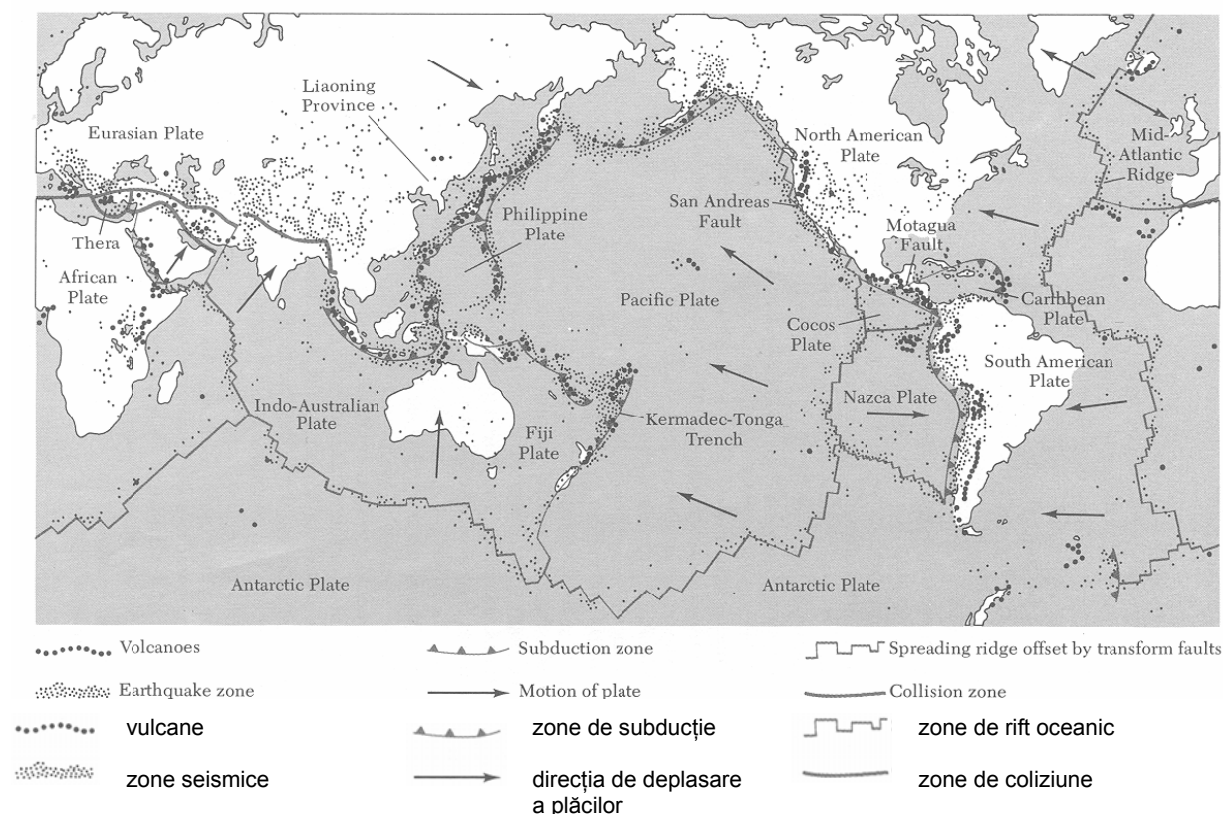


Figura 1.2. Distribuția mondială a cutremurelor (Bolt, 2001).

Undele seismice generate de un cutremur de pământ iau naștere undeva sub suprafața terenului, prin alunecarea bruscă a marginilor unei falii, prin care se eliberează energia de deformare acumulată în masivul de rocă. Cu toate că în cazul cutremurelor naturale sursa seismică este

distribuită într-un volum de rocă, adeseori este convenabilă considerarea simplificată a sursei seismice ca și un punct în care iau naștere undele seismice. Acest punct poartă denumirea de **focar** sau **hipocentru**. Proiecția hipocentrului pe suprafața terenului se numește **epicentru** (vezi Figura 1.3). Cu toate că multe focare se află la adâncimi mici, în unele regiuni acestea se află la sute de kilometri adâncime. Într-un mod relativ arbitrar, cutremurele de pământ pot fi clasificate în funcție de adâncimea hipocentrului în:

- Cutremure de suprafață, cu adâncimea hipocentrului mai mică de 70 km.
- Cutremure intermediare, cu adâncimea hipocentrului cuprinsă între 70 și 300 km
- Cutremure de adâncime, cu adâncimea hipocentrului mai mare de 300 km

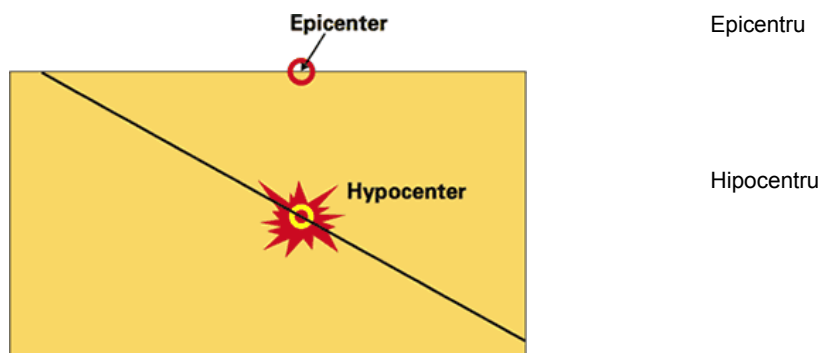


Figura 1.3. Definiția hipocentrului și a epicentrului unui cutremur de pământ, (USGS, n.d.)

Cutremurele de suprafață au consecințele cele mai devastatoare, acestea contribuind la aproximativ 75% din energia seismică totală eliberată de cutremure la nivel mondial. Exemple de zone afectate de cutremure de suprafață sunt California (SUA), Turcia, Banat (România), etc. S-a arătat că majoritatea cutremurelor produse în partea centrală a Californiei au hipocentru în primii 5 km de la suprafață și doar unele cutremure au focarele mai adânci, de maximum 15 kilometri.

Majoritatea cutremurelor medii și puternice de suprafață sunt urmate de **post-șocuri**, care se pot produce între câteva ore și câteva luni după șocul principal. Câteodată, post-șocurile sunt suficient de puternice pentru a crea distrugereri construcțiilor slăbite de cutremurul principal. Doar puține dintre cutremure sunt precedate de **ante-șocuri** provenind din zona hipocentrală, sugerându-se folosirea acestora pentru prezicerea șocurilor principale.

Regiunile afectate de cutremurele de pământ cu focare intermediare și de adâncime includ România (sursa subcrustală Vrancea), marea Egee, Spania, Anzii din America de Sud, insulele Tonga, Samoa, Noile Hebride, marea Japoniei, Indonezia și insulele Caraibe.

1.3. Cauzele cutremurelor

1.3.1. Cutremure tectonice

Majoritatea cutremurelor de pământ pot fi explicate coerent de teoria plăcilor tectonice. Conform acestei teorii, învelișul exterior al Pământului (denumit litosferă, vezi Figura 1.4) este format din câteva masive imense de rocă relativ stabile, denumite plăci tectonice. Principalele plăci tectonice sunt reprezentate în Figura 1.2 și Figura 1.5. Acestea au în medie o grosime de aproximativ 80 kilometri și sunt deplasate de mișcarea de convecție din manta, care la rândul său este creată de căldură generată în nucleu. Mișcarea relativă a plăcilor tectonice este responsabilă pentru o parte importantă a activității seismice mondiale. Coliziunea dintre plăcile litosferice, distrugerea marginilor plăcilor tectonice în zonele de **subducție** (zone convergente) la alunecarea unei plăci sub o altă placă, sau expansiunea în zona **rifurilor** oceanice (zone divergente) sunt toate mecanisme care produc tensiuni și fracturi semnificative în scoarța terestră. Multe cutremure majore se datorează alunecării de-a lungul faliilor **transcurente**.

Cutremurele generate la marginile active ale plăcilor tectonice poartă denumirea de cutremure **inter-placă**. Cele mai puternice cutremure de suprafață din Chile, Peru, Caraibele de est, America Centrală, sudul Mexicului, California, Alaska de sud, insulele Aleute și Kurile, Japonia, Taiwan,

Filipinele, Indonezia, Noua Zelandă, centura Alpi - Caucaz - Himalaia sunt de tipul cutremurelor intra-placă. Viteza medie de deplasare a plăcilor tectonice este de 2-5 cm/an.

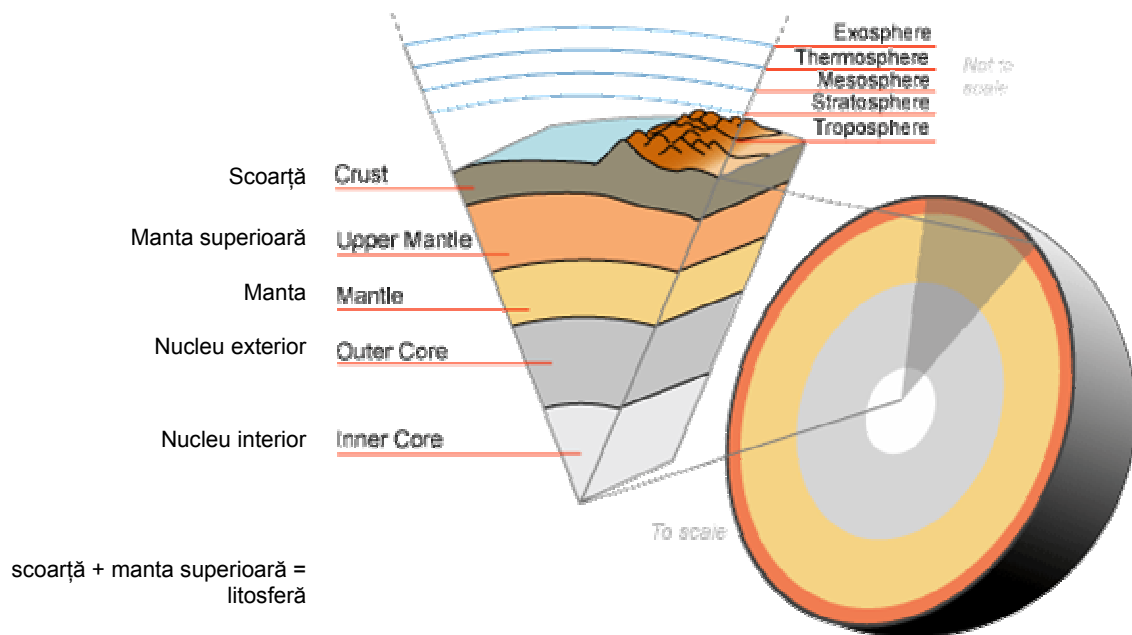


Figura 1.4. Structura internă a planetei pământ (<http://en.wikipedia.org/>).

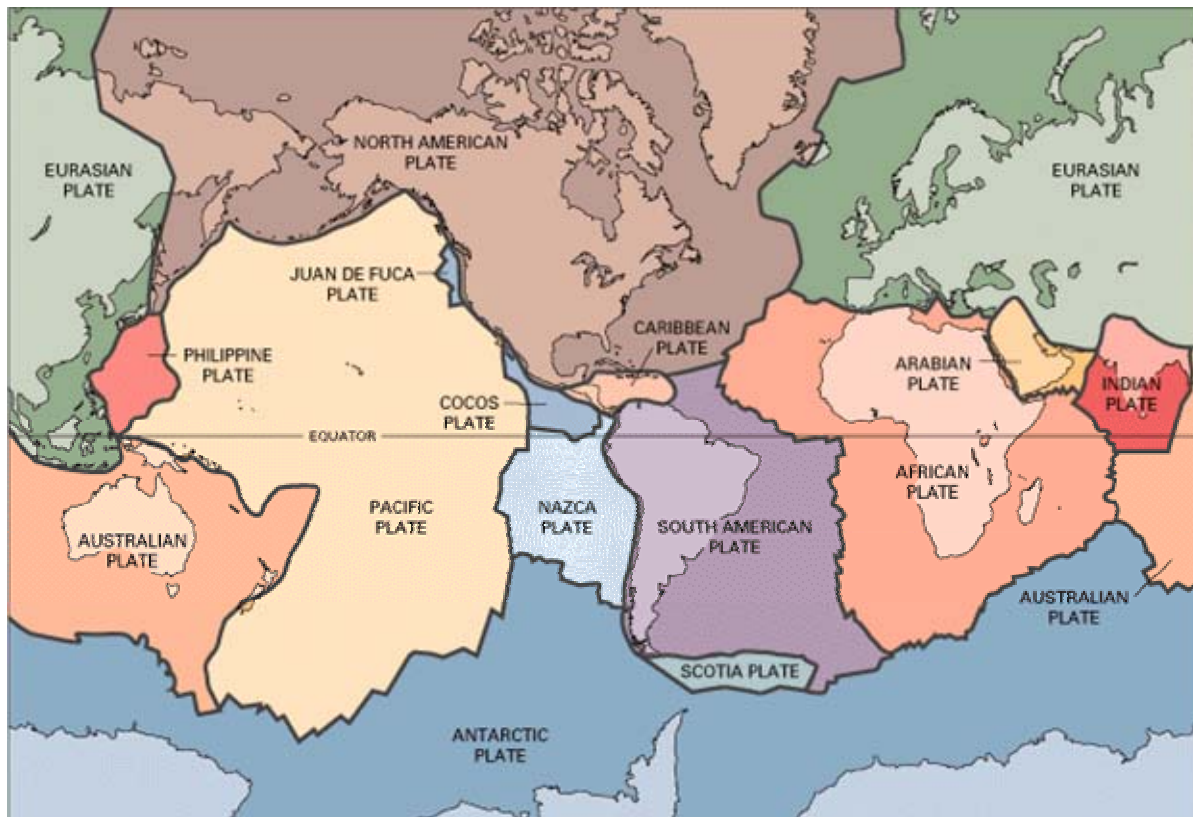


Figura 1.5. Principale plăci tectonice, (USGS, n.d.)

zonă convergentă oceanică zonă transcurrentă zonă divergentă oceanică zonă convergentă zonă divergentă oceanică

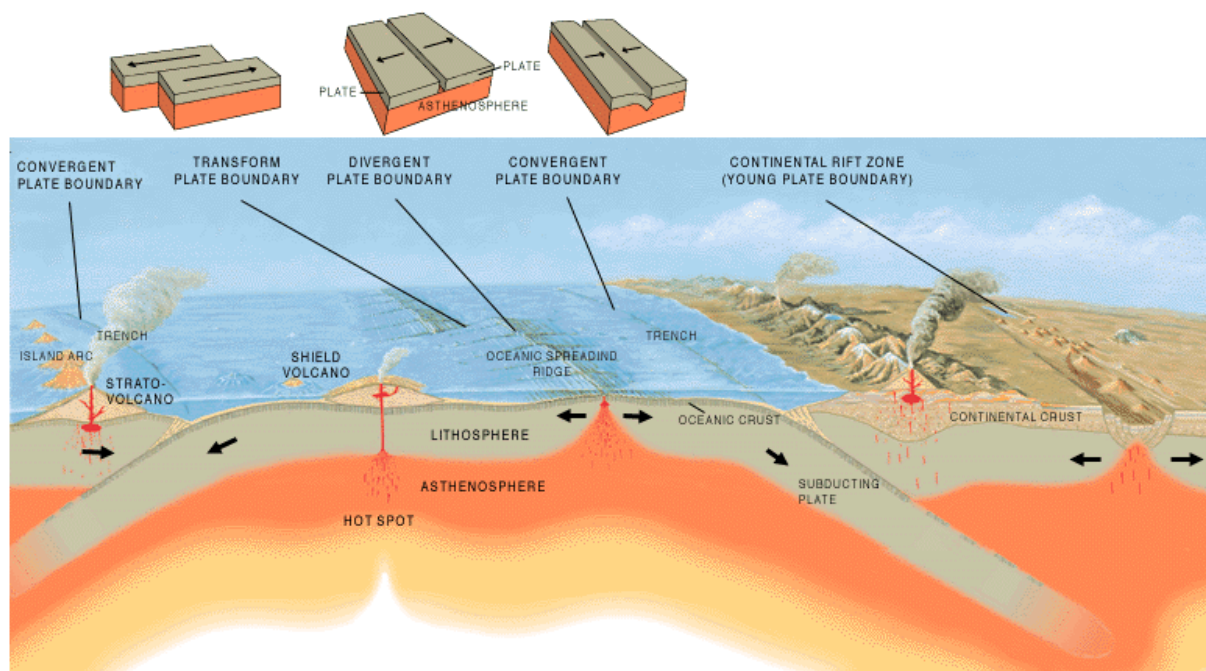


Figura 1.6. Schiță reprezentând zonele convergente, divergente și transcurrente ale plăcilor tectonice (USGS, n.d.)

Pe lângă cutremurele generate la marginile active ale plăcilor tectonice, câteodată se produc cutremure devastatoare în interiorul plăcilor tectonice. Acestea din urmă poartă denumirea de cutremure **intra-placă**. Astfel de cutremure de pământ indică faptul că plăcile litosferice nu sunt indeformabile și că în interiorul acestora se pot produce fracturi. Exemple ale unor astfel de cutremure sunt nord-estul Iranului, New Madrid (Missouri, SUA), Charleston (Carolina de Sud, SUA), nordul China.

1.3.2. Alte cauze ale cutremurelor

Cu toate că activitatea tectonică este responsabilă pentru marea majoritate a cutremurelor de pământ, acestea pot fi generate și de terțe cauze. Printre acestea se numără:

- **Cutremurele de natură vulcanică.** Cei mai mulți vulcani sunt amplasați pe marginile active ale plăcilor tectonice. Există și vulcani intra-placă, cum sunt de exemplu vulcanii din insulele Hawaii. Cu toate acestea, majoritatea cutremurelor în zone vulcanice sunt de natură tectonică. Cutremurele de pământ de natură vulcanică sunt relativ rare și de putere mică, și pot fi produse de exploziile vulcanice, de mișcarea magmei, sau de prăbușirea magmei solidificate de pe coșul vulcanului pe vatra acestuia.
- **Explozii.** Cutremurele de pământ pot fi produse de detonări subterane a unor dispozitive chimice sau nucleare. Exploziile nucleare subterane care au avut loc în trecut au fost cauza unor cutremure de pământ cu magnitudini ajungând la 6.
- **Cutremure de prăbușire.** Această categorie de cutremure de pământ are intensități mici și se datorează prăbușirii tavanului unor mine și caverne. O altă modalitate de producere a acestor cutremure este prin desprindere explozivă a unor mase mari de rocă de pe pereții minelor din cauza tensiunilor acumulate. Astfel de cutremure au fost observate în Canada și Africa de Sud. Alunecările de teren masive pot cauza și ele cutremure minore.
- **Cutremure induse de rezervoare de apă masive.** Au fost observate creșteri ale activității seismice în zone în care au fost construite baraje mari de apă. Calculele au demonstrat că tensiunile generate de încărcarea din apă este prea mare pentru a conduce la fractura rocii de bază. Cea mai plauzibilă explicație constă în faptul că roca din vecinătatea barajelor de apă se

află deja într-o stare de tensiune, gata să alunece. Umplerea rezervorului cu apă fie duce la creșterea stării de tensiune și generează alunecarea, fie presiunea apei din fisuri micșorează rezistența faliei, fie au loc ambele fenomene.

- **Impactul cu corpuri extraterestre.** Căderea unor meteoriți pot genera cutremure locale.

1.4. Tipurile de falii

Observațiile în teren indică faptul că există schimbări bruște în structura rocilor. Aceste schimbări au loc la contactul (de-a lungul fisurii) dintre două blocuri tectonice diferite și poartă denumirea de **falii**. Acestea pot avea lungimi cuprinse între câțiva metri și sute de kilometri. Prezența faliilor indică faptul că la un moment dat în trecut au avut loc deplasări relative de-a lungul acestora. Aceste deplasări pot fi fie **lunecări lente**, care nu produc mișcări seismice, fie **ruperi bruște**, care produc cutremure de pământ. În majoritatea cutremurelor faliile nu ajung până la suprafața terenului și în consecință nu sunt vizibile. Un exemplu de falie cu efecte la suprafața terenului este reprezentată în Figura 1.7.



Figura 1.7. Efectul unei falii transcurente la suprafața terenului (USGS, n.d.)

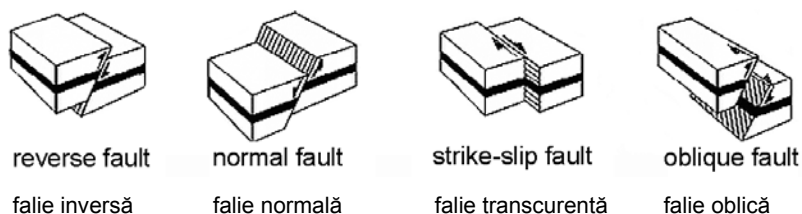


Figura 1.8. Tipuri principale de falii (Oros, 2002)

Faliile sunt clasificate funcție de geometria acestora și de direcția de alunecare relativă. Principalele tipuri de falii sunt reprezentate în Figura 1.8. **Panta** unei falii este unghiul pe care îl creează suprafața faliei cu orizontala, iar **direcția** unei falii este direcția proiecției faliei pe suprafața terenului față de nord. O **falie transcurentă** implică deplasarea blocurilor de rocă paralel cu falia. Alunecarea la o **falie normală** are loc în plan vertical (paralel cu panta), placa superioară a faliei înclinate deplasându-se în jos față de placa inferioară (falierea produce o întindere a crustei). Alunecarea la o **falie inversă** are loc în plan vertical (paralel cu panta), placa superioară faliei înclinate deplasându-se în sus față de placa inferioară (falierea produce scurtarea crustei). Faliile cele mai des întâlnite în natură sunt **faliile oblice**, care reprezintă o combinație între mișcările în plan orizontal și vertical.

1.5. Undele seismice

Mișcarea seismică dintr-un amplasament date se datorează diverselor tipuri de unde generate de o alunecarea unei falii. Există două tipuri de bază de unde seismice: unde de volum și unde de suprafață. Undele P și S se numesc unde de volum deoarece acestea se pot propaga prin interiorul pământului. Undele de suprafață se propagă doar în apropiere suprafeței terenului, și se poate face distincție între unde Rayleigh și unde Love. Undele de suprafață rezultă din interacțiune undelor de volum cu suprafața terenului.

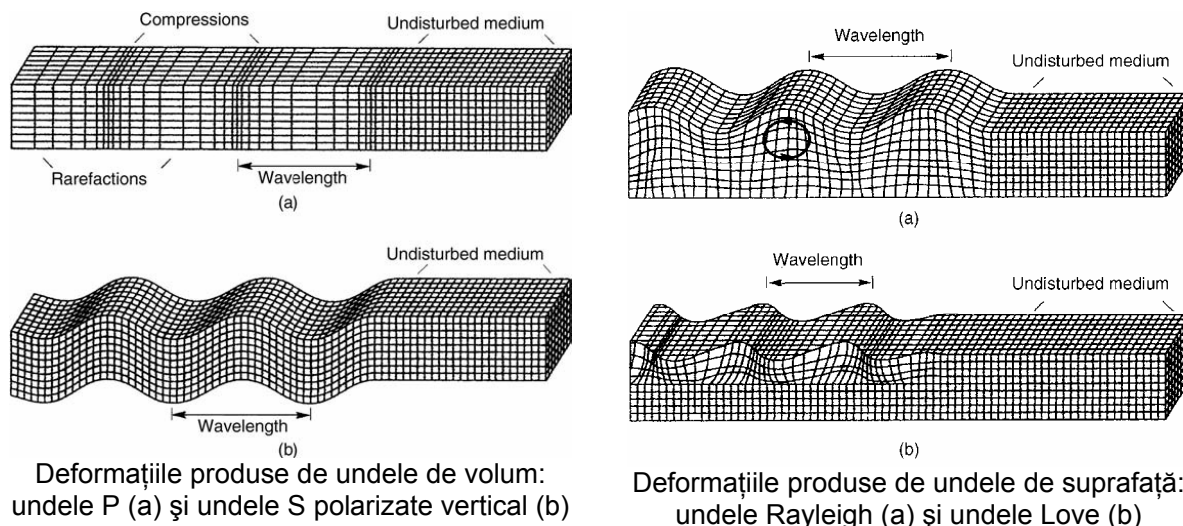


Figura 1.9. Reprezentarea schematică a undelor seismice de volum și de suprafață (Bolt, 2004).

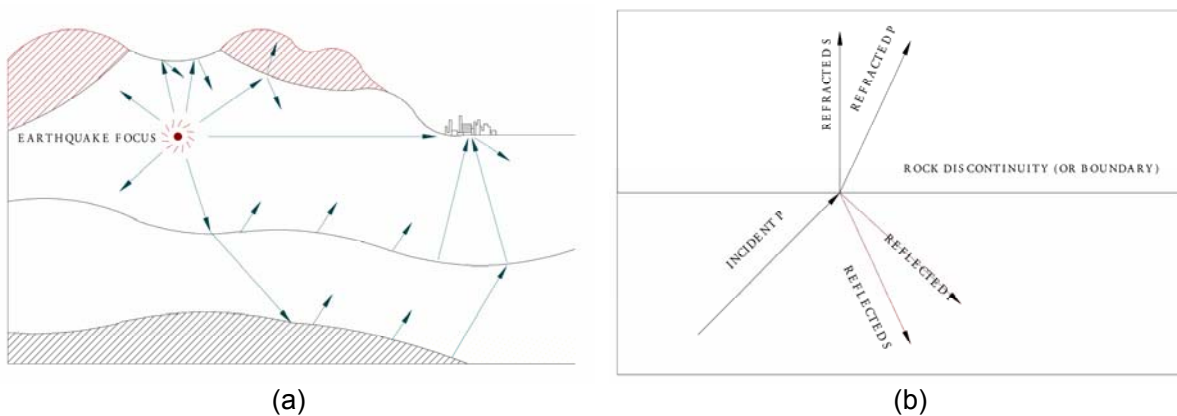


Figura 1.10. Reflectarea, refracția și transformarea undelor seismice (Bolt, 2001).

Cele patru tipuri de unde seismice sunt discutate pe scurt în cele ce urmează (vezi Figura 1.9):

- Undele P (de volum). Undele P sunt cunoscute și ca unde primare, de compresiune sau longitudinale. Este o undă seismică care generează o serie comprimări și dilatări ale materialului prin care se propagă. Undele P au viteza cea mai mare și sunt primele care ajung într-un amplasament dat. Acest tip de unde se poate propaga atât prin solide, cât și prin lichide. Deoarece terenul și rocile rezistă relativ bine la ciclurile de compresiune-întindere, de obicei impactul undelor P asupra mișcării seismice dintr-un amplasament este cel mai mic.
- Undele S (de volum). Undele S sunt cunoscute ca și unde secundare, de forfecare, sau transversale. Undele S generează deformații de forfecare în materialul prin care se propagă. Aceste unde se pot propaga doar prin materiale solide. Viteza de propagare a undelor S este mai mică decât a undelor P, în schimb efectul undelor asupra mișcării seismice dintr-un amplasament este cel mai mare.

- Undele Love (de suprafață). Acest tip de unde sunt similare undelor S, fiind unde transversale care se propagă la suprafața terenului, mișcarea particulelor terenului având loc în plan orizontal.
- Undele Rayleigh (de suprafață). Acest tip de unde este similar undelor create de o piatră aruncată într-un vas cu apă. Mișcarea particulelor are loc într-un plan vertical.

Propagarea undelor P și S prin scoarța terestră este însoțită de reflexii și refracții multiple la interfața dintre roci de diferite tipuri (vezi Figura 1.10a). În plus, la fiecare interfață, are loc o transformare a undelor dintr-un tip în altul (vezi Figura 1.10b). Din punct de vedere al unui inginer constructor, nu este foarte importantă distincția între cele patru tipuri de unde. Efectul global al acestora, în termeni de intensitate a mișcării seismice în amplasament este mai importantă. Cu toate acestea, este important să se recunoască faptul că mișcarea seismică într-un amplasament va fi afectată în cea mai mare măsură de undele S, iar în unele cazuri și de undele de suprafață.

1.6. Efectele cutremurelor

Cutremurele distrug construcțiile ingineresti în mai multe moduri, dintre care amintim aici:

- prin forțele de inerție induse în structuri datorită mișcării seismice
- incendiile induse de cutremurele de pământ
- modificarea proprietăților fizice ale terenului de fundare (consolidări, tasări, lichefierii)
- deplasarea directă a faliei la nivelul terenului
- alunecări de teren
- schimbarea topografiei terenului
- valuri induse de cutremure, cum ar fi cele oceanice (țunami) sau cele din bazine și lacuri (seiche)

Dintre efectele cutremurelor de pământ amintite mai sus, distrugerile cele mai semnificative și cele mai răspândite se datorează vibrațiilor induse în construcții ingineresti de mișcarea seismică (vezi Figura 1.11). Reducerea acestui hazard seismic face obiectul cursului de inginerie seismică.



(a)

(sursa: <http://nisee.berkeley.edu/>)



(b)

(sursa: <http://www.ngdc.noaa.gov/>)

Figura 1.11. Colapsul parțial al unei structuri din b.a. la București în timpul cutremurului din 4 martie 1977 din Vrancea (a); Distrugerea parțială a parterului unei clădiri de birouri în timpul cutremurului din 16 ianuarie 1995 de la Kobe, Japonia (b).

Incendiile care se pot declanșa ca urmare a unui cutremur reprezintă un pericol major. Astfel, în timpul cutremurului din 1906 de la San Fransisco, doar 20% din pierderile totale s-au datorat

distrugerilor directe din cauza mișcării seismice, restul de 80% datorându-se incendiilor care au devastat orașul timp de trei zile și care mistuit 12 kilometri pătrați și 521 de blocuri din centrul orașului.

Distrugerile datorate comportării terenului de fundare au creat mare probleme în cutremurele din trecut. Un exemplu clasic este cazul cutremurului din Niigata din 1964 (vezi Figura 1.13a), care nu a avut o intensitate importantă (o accelerație maximă a terenului de 0,16 g), considerând nivelul pierderilor suferite. Dezvoltarea orașului a impus folosirea unor terenuri proaste din fosta albie a râului Shinano. Ca urmare a mișcării seismice, multe clădiri s-au înclinat sau răsturnat ca urmare a lichefierii terenului de fundare. Un număr de 3018 clădiri au distruse și 9750 au suferit degradări medii până la severe în prefectura Niigata, majoritatea datorându-se tasărilor inegale și fisurilor apărute în terenul de fundare.

Deplasările directe ale faliei la nivelul terenului sunt probabil cele mai cutremurătoare la nivel social. Cu toate că în trecut au fost observate distrugereri datorită deplasărilor directe ale faliei la nivelul terenului (vezi Figura 1.13b), acest fenomen este întâlnit relativ rar, iar distrugerile și suprafața afectată sunt minore în comparație cu cele datorate vibrațiilor induse în construcții de mișcarea seismică.



(a)

(sursa: <http://nisee.berkeley.edu/>)



(b)

(<http://www.rekihaku.ac.jp/>)

Figura 1.12. Incendiile urmate de cutremurele din 1906 din San Francisco (a) și marele cutremur Kanto din 1923 (b).



(a)

(sursa: <http://nisee.berkeley.edu/>)



(b)

(sursa: <http://www.eas.slu.edu/>)

Figura 1.13. Răsturnarea unor blocuri de locuit la Kawagishi-Cho, Niigata, ca urmare a lichefierii terenului în timpul cutremurului din 1964 (a); șine de tramvai îndoite ca urmare a deplasărilor terenului produse în timpul cutremurului din 1906 de la San Fransisco (b).

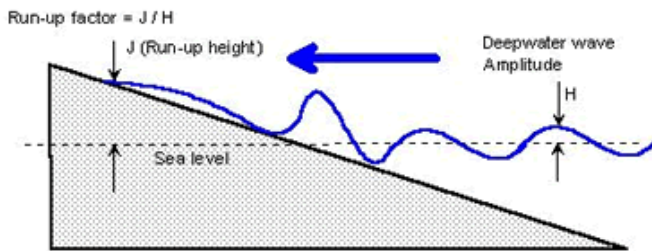


(a)
(sursa: USGS)

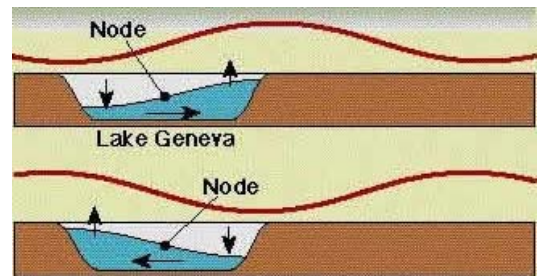


(b)
(<http://www.ngdc.noaa.gov/>)

Figura 1.14. Alunecări de teren în La Conchita, California, 1995 (a); Partea de sud-est a golfului Izmit, inundat ca urmare a subsidenței în timpul cutremurului din 17 august 1999 din Izmit, Turcia.



(a)
(sursa: USGS)



(b)
(sursa: USGS)

Figura 1.15. Reprezentarea schematică a efectului unui tsunami (a) și unui seiche (b).

Alunecările de teren induse de cutremure (vezi Figura 1.14a), cu toate că reprezintă un pericol major, sunt din fericire relativ restrânse.

Schimbările topografice datorate cutremurelor nu duc în mod direct la pierderi de vieți omenești. Cea mai importantă consecință a unor astfel de modificări o reprezintă distrugerile pe care le pot avea astfel de structuri cum sunt podurile și barajele. În anumite cazuri pot avea loc inundații ale terenului, ca urmare a subsidenței unor terenuri aflate pe malul unor ape (vezi Figura 1.14b).

Țunami sunt valurile oceanice generate de cutremurele de pământ subacvatice și care pot crea distrugerii însemnate în localitățile de coastă (vezi Figura 1.15a). Oceanul Pacific este deseori scena unor astfel de evenimente. Pentru ca un cutremur să genereze un tsunami, acesta trebuie să fie asociat unei falii de tip inversă sau normală, în timp ce faliile transcurrente nu produc în general astfel de fenomene. La 15 iunie 1896 în regiunea Honshu Japoniei a fost devastată de un tsunami cu o înălțime vizuală a valului de 20 metri și care a înecat în jur 26000 oameni. Timpul de propagare a unui tsunami de la coastele Chile până la insulele Hawaii este de 10 ore, iar de la Chile până în Japonia de 20 ore. Astfel, schema de prevenire a pierderilor omenești în Pacific din cauza tsunami o reprezintă un sistem de monitorizare și alertare compus din câteva zeci de stații

amplasate în oceanul Pacific. Pe lângă acest sistem, hazardul valurilor uriașe poate fi redus prin construcții de coastă specifice și evitarea amplasării construcțiilor în zonele joase de pe coastă.

Fenomenul "seiche" (vezi Figura 1.15b) reprezintă revărsarea apei peste marginile bazinului sau malurile unui lac în urma mișcării produse de un cutremur de pământ.

1.7. Intensitatea și magnitudinea

Analiza științifică a cutremurelor necesită o cuantificarea a acestora. Înainte de apariția aparatelor seismice moderne, efectele cutremurelor de pământ erau estimate calitativ prin intermediul **intensității** degradărilor, care diferă de la un amplasament la altul. Cu apariția și utilizarea seismometrelor a devenit posibilă definirea **magnitudinii**, a unui parametru unic pentru un eveniment seismic, care măsoară cantitatea de energie eliberată de un cutremur. Cele două modalități de măsurare a cutremurelor rămân cele mai utilizate în ziua de astăzi, fiecare având câteva scări alternative.

1.7.1. Intensitatea seismică

Intensitatea seismică reprezintă cea mai veche măsură a cutremurelor. Aceasta se bazează pe observații calitative ale efectelor unui cutremur într-un amplasament dat, cum ar fi degradările construcțiilor și reacția oamenilor la cutremur. Deoarece scările de intensitate seismică nu depind de instrumente, aceasta poate fi determinată chiar și pentru cutremure istorice. Prima scară a intensității seismice a fost dezvoltată de Rossi (Italia) și Forel (Elveția) în 1880, cu valori ale intensității seismice între I și X. O scară mai exactă a fost inventată de vulcanologul și seismologul italian Mercalli în 1902, având valori ale intensității cuprinse între I și XII. Scările de intensitate seismică cele mai utilizate astăzi sunt Mercalli modificată (MMI), Ross-Forel (R-F), Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK-64), Scara Macro seismică Europeană (EMS-98) și scara agenției meteorologice japoneze (JMA). În România se utilizează scara MSK (descrisă în Tabel 1.1), iar zonarea intensității seismice a României conform SR 11100/1 din 1993 este prezentată în Figura 1.16. Există relații aproximative între intensitate seismică exprimată în grade și măsuri ingineresti, cum ar fi accelerația maximă a terenului.

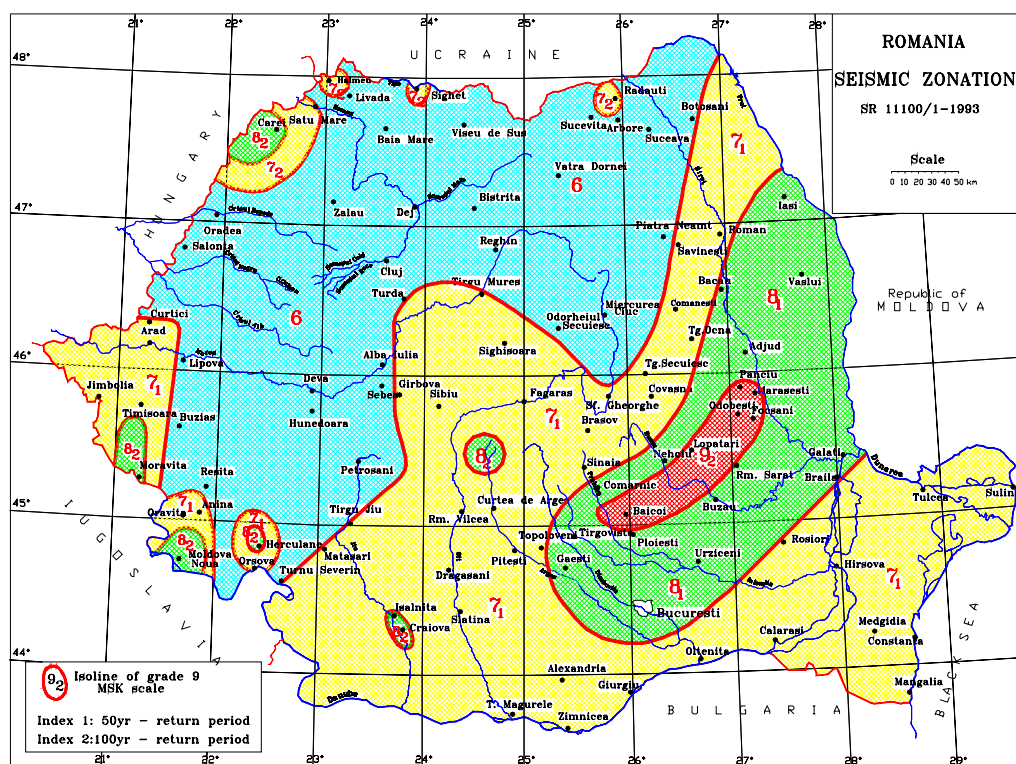


Figura 1.16. Zonarea seismică a României conform SR 11100/1 din 1993 (Lungu et al., 2001).

Tabel 1.1. Scara intensității seismice MSK (Dimoiu, 1999)

Gradul – denumirea	Descrierea efectelor asupra	
	Viețuitoarelor și obiectelor mediului	Lucrărilor de construcții
I – imperceptibil	înregistrat numai de aparate	
II – abia simțit	simțit în case la etajele superioare de persoane foarte sensibile	
III – slab	simțit în casă, de cei mai mulți oameni în repaus; obiectele suspendate se leagănă ușor; se produc vibrații asemenea acelor cauzate de trecerea unor vehicule ușoare	
IV – puternic	obiectele suspendate pendulează; vibrații ca la trecerea unui vehicul greu; geamurile, ușile, farfuriile zornăie; paharele, oalele se ciocnesc; la etajele superioare tâmplăria și mobila trosnesc	
V – deșteptător	simțit și afară din casă; cei ce dorm se trezesc; lichidele din vase se mișcă și uneori se vară; obiectele ușoare instabile se deplasează sau se răstoarnă; tablourile și perdelele se mișcă; ușile trepidează, se închid și se deschid	
VI – provoacă spaima		apar crăpături în tencuiala slabă și în zidării din materiale slabe, fără mortar
VII – provoacă avarierea clădirilor	stabilitatea oamenilor este dificilă; se simte chiar în vehicule aflate în mișcare; mobila se crapă; apar valuri pe suprafața lacurilor, sună clopotele grele; apar ușoare alunecări și surpări la bancurile de nisip și pietriș	se distrug zidăriile fără mortar, apar crăpături în zidării cu mortar; cade tencuiala, cărămizi nefixate, țigle, cornișe parapetei, calcane, obiecte ornamentale
VIII – provoacă avarii puternice	copacii se rup, vehiculele sunt greu de condus, se modifică temperatura sau debitul izvoarelor sau sondelor; apar crăpături în terenuri umede și pe pante	apar avarii și la construcțiile bine executate; cele slab construite se dărâmă parțial; coșurile de fum, monumentele înalte se răsucesc pe soclu, se prăbușesc; construcțiile se mișcă pe fundații; ferestrele nefixate în pereți sunt aruncate afară
IX – provoacă avarii foarte importante	panică generală; apar crăpături în sol; în regiuni aluvionare țâșnește nisip și mâl; apar izvoare noi și cratere de nisip	zidăriile slabe sunt distruse, cele cu mortar sunt puternic avariate; apar avarii la fundații, se rup conducte
X – distrugător	alunecări masive de teren; apa este aruncată peste malurile râurilor, lacurilor, etc.; șinele de cale ferată sunt ușor îndoite	majoritatea clădirilor din zidărie sunt distruse, la scheletele din beton armat zidăria de umplutură este aruncată afară, iar capetele stâlpilor sunt măcinate, stâlpii din oțel se îndoie; avarii serioase la taluze, diguri, baraje
XI – catastrofal	traversele și șinele de cale ferată sunt puternic încovoiate; conductele îngropate sunt scoase din folosință	surparea tuturor construcțiilor din zidărie; avarii grave la construcțiile cu schelet din beton armat și oțel
XII – provoacă modificarea reliefului	se modifică liniile de nivel ale reliefului; deplasări și alunecări de maluri; râurile schimbă cursul; apar căderi de apă; obiectele de pe sol sunt aruncate în aer	

1.7.2. Magnitudinea

Magnitudinea este o măsură a energiei eliberate de un cutremur, fiind o valoare unică pentru un eveniment seismic, spre deosebire de intensitate, care are valori diferite funcție de distanța de la epicentru și condițiile locale de amplasament. Magnitudinea se bazează pe măsurători instrumentate și astfel nu conține gradul de subiectivism pe care îl are intensitatea seismică.

O măsură strict cantitativă a cutremurelor a fost inițiată în 1931 de Wadati în Japonia și dezvoltată în 1935 de Charles Richter în California, SUA. Richter a definit **magnitudinea locală** M_L a unui cutremur ca și logaritmul cu baza zece a amplitudinii maxime în microni (10^{-3} mm) A înregistrată cu un seismograf Wood-Anderson amplasat la o distanță de 100 km de epicentru:

$$M_L = \log A - \log A_0 \quad (1.1)$$

$\log A_0$ este o valoare standard funcție de distanță, pentru instrumente aflate la alte distanțe decât 100 km, dar nu mai departe de 600 km de epicentru. Relația (1.1) implică creștere de zece ori a amplitudinii deplasărilor înregistrate de seismograf la creșterea magnitudinii cu o unitate. Pentru aceeași creștere a magnitudinii cu o unitate, cantitatea de energie seismică eliberată de un cutremur crește de aproximativ 30 de ori.

Scara de magnitudini locale (M_L) a fost definită pentru California de sud, cutremure de suprafață, și distanțe epicentrale mai mici de 600 km. Ulterior au fost dezvoltate alte scări de magnitudini, descrise pe scurt în continuare.

Magnitudinea undelor de suprafață (M_s). Undele de suprafață cu o perioadă de aproximativ 20 secunde domină adeseori înregistrările seismografice ale cutremurelor îndepărtate (distanțe epicentrale mai mari de 2000 km). Pentru cuantificarea acestor cutremure, Gutenberg a definit scara de magnitudini a undelor de suprafață, care măsoară amplitudinea undelor de suprafață cu perioada de 20 secunde.

Magnitudinea undelor de volum (m_b). Cutremure de adâncime sunt caracterizate de unde de suprafață nesemnificative. De aceea pentru acest tip de cutremure magnitudinea m_b se determină pe baza amplitudinii undelor P, care nu sunt afectate de adâncimea hipocentrului.

Magnitudinea moment (M_w). Magnitudinile M_L , m_b și într-o măsură mai mică M_s întâmpină dificultăți în distingerea între cutremurele foarte puternice. Ca urmare a acestui fapt, a fost dezvoltată magnitudinea moment M_w , care depinde de momentul seismic M_0 , la rândul său în relație directă cu dimensiunea sursei seismice:

$$M_w = (\log M_0) / 1.5 - 10.7 \quad (1.2)$$

unde M_0 este momentul seismic în dyn-cm.

Fenomenul de saturație se referă subestimarea energiei cutremurelor puternice și este caracteristică magnitudinilor M_L , m_b și într-o măsură mai mică M_s . Magnitudinea moment M_w nu suferă de acest dezavantaj și de aceea este preferat în zilele noastre.

1.8. Înregistrarea mișcării seismice

Un **seismograf** este un instrument care măsoară mișcarea suprafeței terenului din cauza undelor generate de un cutremur de pământ, funcție de timp. În Figura 1.17a este prezentat schematic principiul de funcționare a unui seismograf. **Seismograma**, reprezentând înregistrarea efectuată cu ajutorul seismografului oferă informații despre natura cutremurului de pământ. Conceptual, un seismograf este alcătuit dintr-un de un pendul sau o masă atașată unui arc. În timpul unui cutremur, rola de hârtie fixată de baza seismografului se mișcă odată cu terenul în timp ce pendulul împreună cu stiloul atașat acestuia rămân mai mult sau mai puțin în repaus, datorită forțelor de inerție, înregistrând mișcarea seismică. După încetarea mișcării seismice pendulul va tinde să ajungă în echilibru, efectuând înregistrări false ale mișcării. De aceea este necesar un mecanism de amortizare.

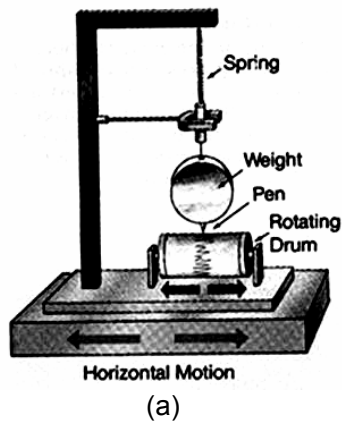
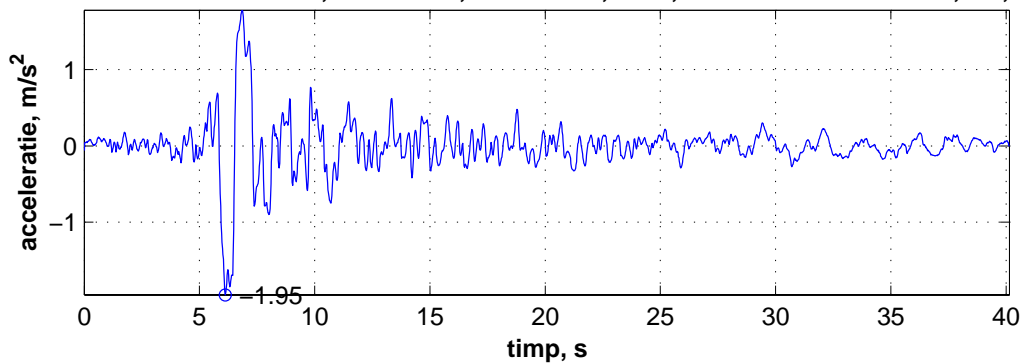
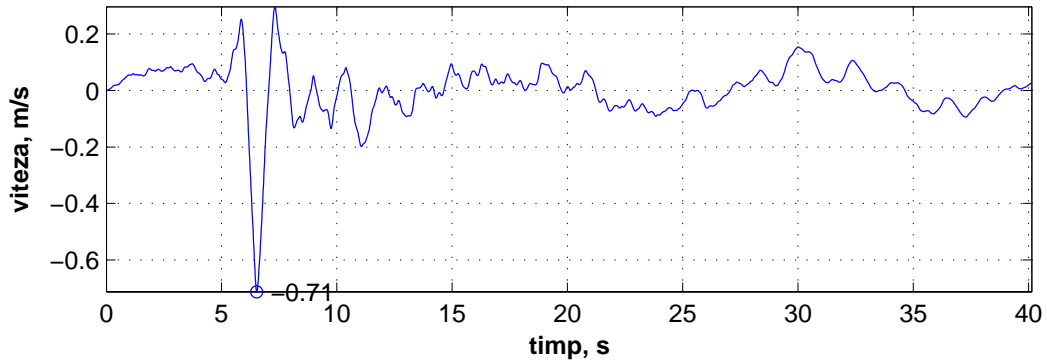


Figura 1.17. Conceptul unui seismograf (a) și un accelerometru modern (b).

PSA01-001.01 ROMANIA, VRANCEA, MARCH 04, 1977, INCERC-BUCHAREST, NS, ini



PSA01-001.01 ROMANIA, VRANCEA, MARCH 04, 1977, INCERC-BUCHAREST, NS, ini



PSA01-001.01 ROMANIA, VRANCEA, MARCH 04, 1977, INCERC-BUCHAREST, NS, ini

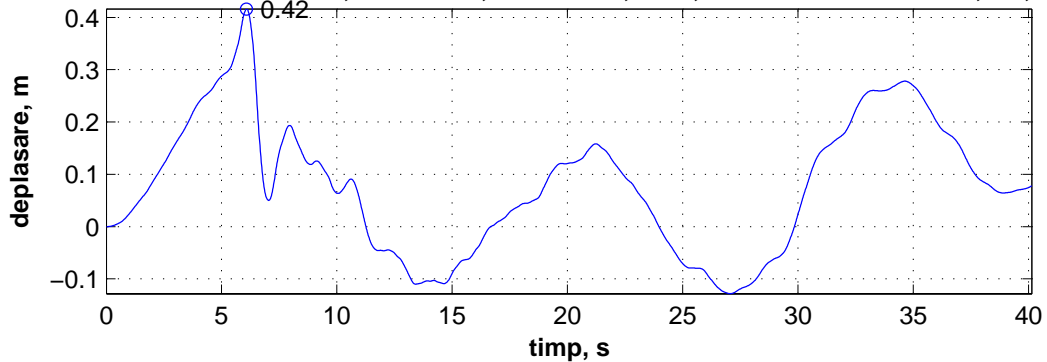


Figura 1.18. Înregistrări pentru componentele nord-sud ale accelerației, vitezei și deplasării efectuate la stația INCERC-București în timpul cutremurului din 04 martie 1977 din Vrancea.

Instrumentele moderne de înregistrare a mișcării seismice se numesc generic **seismometre**. Cele mai uzuale instrumente sunt **accelerometrele** (Figura 1.17b), care înregistrează digital accelerația terenului, cea mai utilă în ingineria seismică. Un astfel de instrument are de obicei trei senzori: doi pentru înregistrare componentelor orizontale (nord-sud și est-vest), și un al treilea pentru componenta verticală a mișcării seismice. Accelerația este uzual exprimată în cm/s^2 , fie în raport cu accelerația gravitațională $g=981 \text{ cm/s}^2$. Valorile vitezei și cele ale deplasării terenului în urma unei mișcări seismice se pot obține ulterior prin integrarea accelerației. În calitate de exemplu, Figura 1.18 prezintă înregistrări pentru componentele nord-sud ale accelerației, vitezei și deplasării efectuate la stația INCERC-București în timpul cutremurului din 04 martie 1977 din Vrancea. Valoarea maximă a accelerației înregistrate este uzual denumită **valoarea de vârf a accelerației terenului**. Pentru componenta nord-sud a mișcării seismice menționate anterior aceasta are valoare absolută de 1.95 m/s^2 .

1.9. Seismicitatea României

Hazardul seismic din România este datorat contribuției a doi factori: (i) contribuția majoră a zonei seismice subcrustale Vrancea și (ii) alte contribuții provenind din zone seismogene de suprafață, distribuite pe întreg teritoriul țării, vezi Figura 1.19 (Lungu et al, 2003).

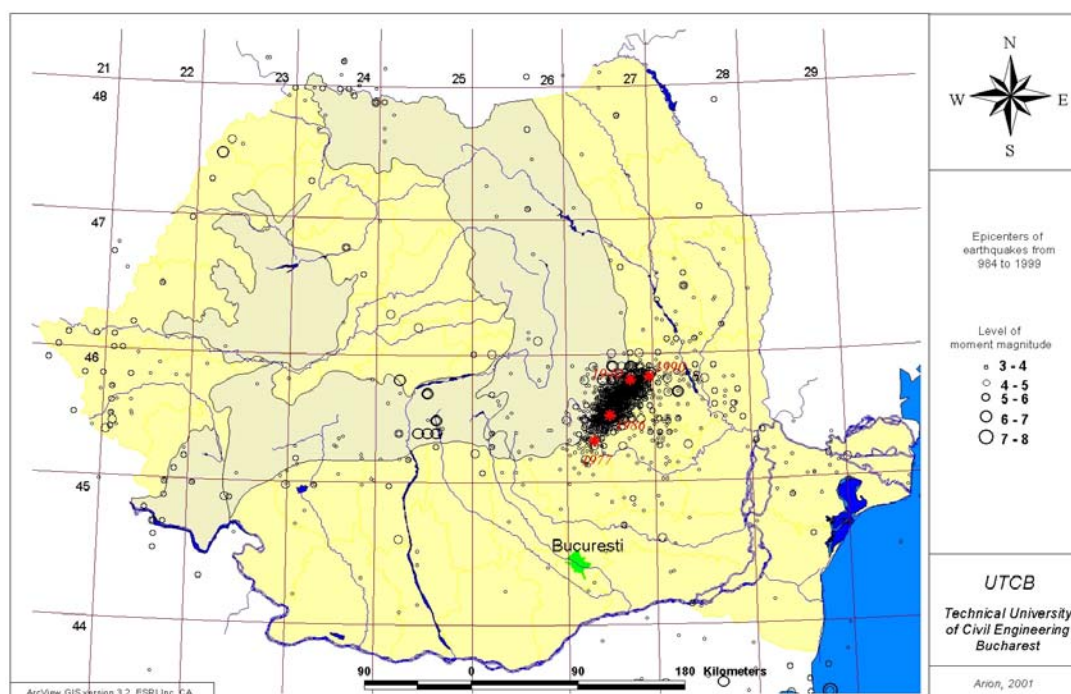


Figura 1.19. Epicentrele cutremurelor ce au avut loc în România în perioada 1984 – 1999 (Lungu et al., 2003).

Zona seismogenă Vrancea este situată la curbura Carpaților, având, după datele din acest secol, un volum relativ redus: adâncimea focarelor între 60 și 170 km și suprafața epicentrală de cca. $40 \times 80 \text{ km}^2$. Sursa Vrancea este capabilă să producă mari distrugereri în peste 2/3 din teritoriul României și în primul rând în București: pagube de 1.4 Miliarde USD numai în Capitală din totalul de peste 2 Miliarde USD în România în 1977. Cutremurul Vrancean cel mai puternic este considerat a fi cel din 26 Octombrie 1802, magnitudinea Gutenberg-Richter, M apreciată de diferiți autori pentru acest cutremur se situează între 7.5 și 7.7. Cutremurul Vrancean cu cea mai mare magnitudine din acest secol a fost cel din 10 Noiembrie 1940 având magnitudinea Gutenberg-Richter $M=7.4$ și adâncimea de 140-150 km. Cutremurul Vrancean cu cele mai distrugătoare efecte asupra construcțiilor și primul cutremur puternic pentru care s-a obținut o accelerogramă înregistrată în România a fost cel din 4 Martie 1977: magnitudinea Gutenberg-Richter $M=7.2$, adâncimea focarului $h=109 \text{ km}$, distanța epicentrală față de București 105 km. În București acest

cutremur a cauzat peste 1400 pierderi de vieți omenești și prăbușirea a 23 construcții înalte din beton armat și 6 clădiri multietajate din zidărie realizate înainte de cel de al doilea război mondial precum și a 3 clădiri înalte din beton armat construite în anii '60 - '70.

“Banatul este o regiune foarte bogată în focare proprii, focare care se grupează în 2 regiuni distincte. O regiune o constituie partea de SE a Banatului (Moldova Nouă), iar o altă împrejurimile orașului Timișoara” (I. Atanasiu, Cutremurele de pământ din România, 1959). După Constantinescu și Marza celor 2 zone seismogene principale din Banat li se pot adăuga și următoarele zone: Sânicolaul Mare, Arad și granița română – sârbă. Cel mai puternic cutremur Bănățean din sursa Moldova Nouă în secolul XX a fost cutremurul din 18 Iulie 1991, $M=5.6$, $h = 12$ km iar din sursa Timișoara a fost cutremurul din 12 Iulie 1991, $M = 5.7$, $h = 11$ km.

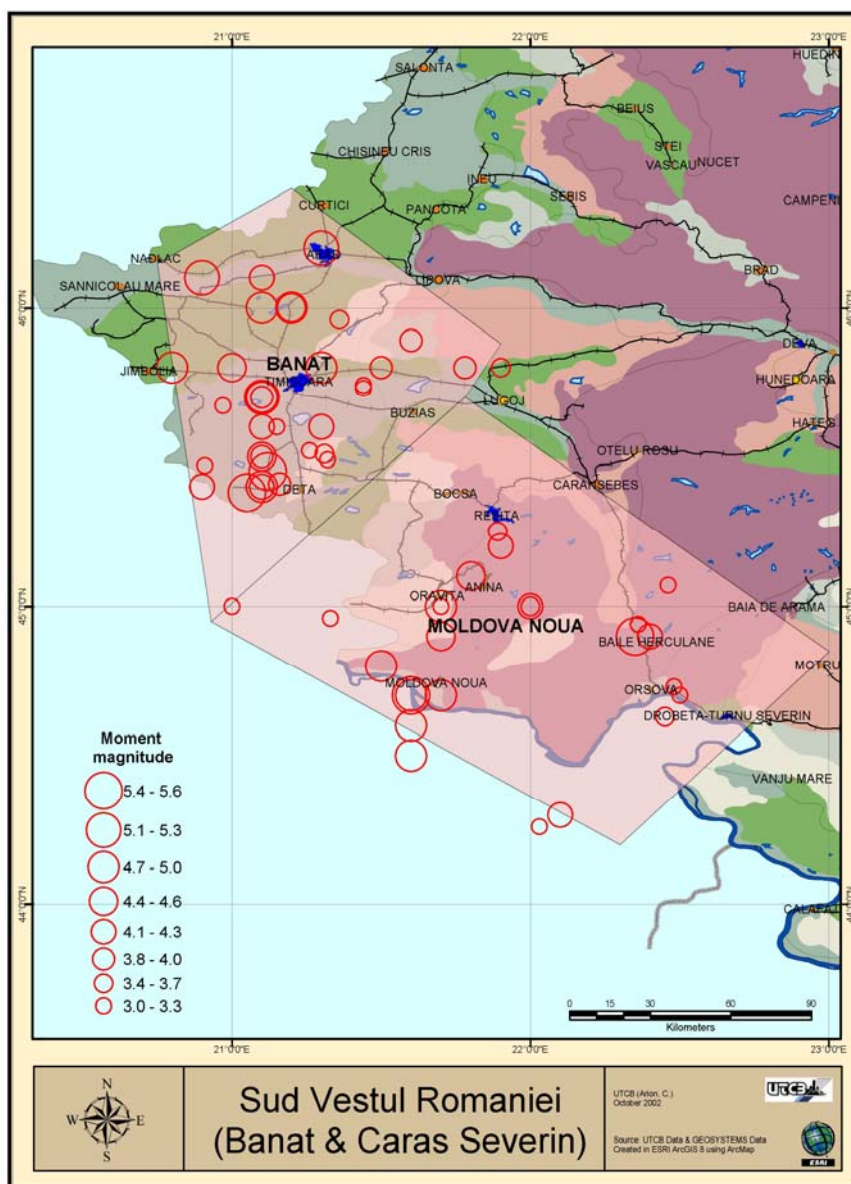


Figura 1.20. Poziționarea geografică a epicentrelor cutremurelor bănățene în perioada 1794-2001 (Lungu et al, 2003).

Harta de zonare seismică a teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare a_g pentru cutremure având intervalul mediu de recurență IMR = 100 ani este prezentată în Figura 1.21.

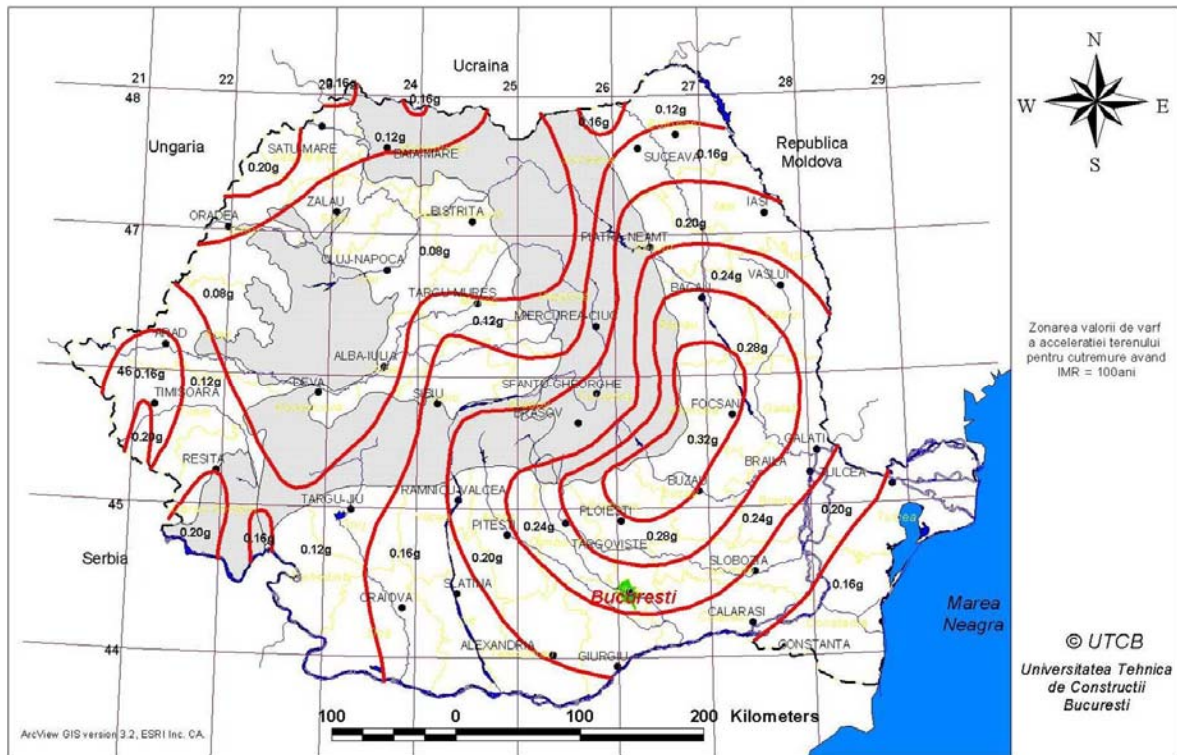


Figura 1.21. Zonarea teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare a_g pentru cutremure având intervalul mediu de recurență IMR = 100 ani, (P100 – 2006).