

# CUTREMURELE DE PĂMÂNT – FENOMENE NATURALE PERICULOASE PENTRU OMENIRE PRIN EFECTELE LOR

**Mirela-Adriana ANGHELACHE**

mirelaadrianaa@yahoo.com

**ABSTRACT:** This paper intends to review the main effects of the earthquakes, emphasizing how they affect people and their achievements. As it will be shown within the paper the natural mechanism of producing earthquakes has primary and/or secondary effects which could cause human life loss and important material damages. Therefore, we'll see why the earthquakes by themselves are not dangerous, but their effects which interact with human habitats.

**KEYWORDS:** earthquake effects, natural hazards, lanslides, liquefaction, tsunami, seismic risk.

## **Introducere**

Dacă, așa cum spunea istoricul american, William James Durant, autor al seriei *Story of Civilization*: „Civilisation exists by geological consent, subject to change without prior notice.” – civilizația există doar prin consimțământul geologic, care este pasibil de schimbare fără nicio atenționare prealabilă –, atunci hazardul natural reprezintă posibilitatea ca acest consimțământ să fie retras.

Hazardul seismic asociat unui cutremur constă din fenomene naturale și/ sau culturale care reprezintă efecte negative potențiale asupra activității umane. Astfel fenomenele naturale sau geologice sunt cele care includ alunecări de teren, lichefierea terenului, mișcarea puternică a pământului și subsidența, falierea, tsunami etc., iar

hazardurile culturale implică prăbușiri de clădiri, incendii, inundații, distrugerea liniilor de comunicare, de alimentare cu apă, energie, distrugerea rețelilor de transport, întreruperea serviciilor medicale etc., dar și scurgeri radioactive de la centralele nucleare. Atunci când se iau în calcul consecințele economico-sociale ale cutremurelor când acestea depășesc o valoare prag specifică pentru o anumită zonă, într-o anumită perioadă de timp, se estimează riscul seismic. Prin urmare, evaluarea efectelor cutremurelor asupra societății se face pe tot parcursul unui studiu de estimare a riscului seismic. Acest studiu se face în vederea elaborării unor strategii eficiente de management al riscului seismic.

Exista două categorii de efecte ale cutremurelor: **directe și secundare**.

Efectele cutremurelor depind de un număr mare de factori variabili și în general ele se clasifică ținând cont de acești factori:

- caracteristicile intrinseci cutremurelor: magnitudine, tip, localizare sau adâncime;

- distanța de la epicentru la zona expusă, caracteristicile geotectonice ale căii străbătute de undele seismice și ale zonei afectate de efectele cutremurului (de ex. tipul de teren, gradul de saturare cu apă a terenului etc.) și

- condițiile existente în habitatul uman expus cutremurelor: calitatea construcțiilor, nivelurile de pregătire și informare ale populației pentru situațiile de criză în cazul unui cutremur puternic, momentul zilei (ex.: ore aglomerate) etc.

În paginile următoare vom face o trecere în revistă a acestor efecte și a consecințelor lor.

### **I. Efecte directe**

Efectele directe presupun deformarea terenului în apropierea faliei generatoare de cutremure. Pe de altă parte, deformarea permanentă a terenului din cauza rupturii faliei se poate extinde mulți kilometri de la falie, și deseori este măsurabilă chiar dacă ruptura în sine rămâne îngropată.

Majoritatea faliilor care generează cutremure nu rup suprafața, altele însă o fac. Ca de exemplu, în evenimentul seismic de la Hyogo-Ken Nanbu, din 17 ianuarie 1995, ruptura la suprafață a fost observată într-o arie rurală a Insulei Awaji, unde au fost vizibile deplasări de până la 3 m.

Figura I.1 prezintă o imagine aeriană a rupturii la nord de Insula Awaji, realizată pe 18 ianuarie, a doua zi după eveniment. De la stânga la dreapta de-a lungul rupturii se observă alunecarea de teren de la ruptură, care afectează șoseaua, un escarpament al faliei de-a lungul unui câmp de orez, o decroșare dextră pe șosea și încă trei indicatori ai escarpamentului faliei. Casele în apropiere de ruptură au suferit distrugereri, iar conductele subterane, șanțurile de irigații au fost dislocate. În general, ruptura la suprafață provoacă avarii structurilor (case, magazine, căi ferate, șosele, tuneluri, poduri, puțuri, și conducte de apă, gaze etc) dacă acestea sunt localizate în apropierea faliei, avarii minore până la distrugereri. De exemplu, în urma cutremurului din 1952 din California au fost distruse trei tuneluri de cale ferată, iar traficul de pe linia principală care lega nordul de sudul Californiei a fost oprit pentru 25 de zile, în ciuda reparațiilor permanente.



**Fig. I.1.** Imagine aeriană a rupturii de la suprafață a unei falii din Japonia (fotografie realizată de *Geographical Survey Institute of Japan*).

Figura următoare prezintă o ruptură la suprafață apărută în urma cutremurului din California, din 15 octombrie 1979:



**Fig. I.2.** Ruptură de suprafață a unei falii în zona El Centro, California (fotografie realizată de Universitatea din Colorado).

Se poate observa o falie cu deplasări horizontale către dreapta (falie de decroșare dextră) într-un câmp din apropierea El Centro. Agricultura a suferit pagube importante, deoarece canalele, șanțurile de irigare și drenurile subterane au fost dislocate de mișcarea propagată de-a lungul Faliei Imperiale.

La noi în țară au fost observate o serie de fracturi formate sau reactivitate în timpul cutremurului din 4 martie 1977, într-o zonă cuprinzând sudul Moldovei, zona de curbură a Carpaților și vestul Câmpiei Române. La Berca s-a reactivat fractura care traversează longitudinal structura după direcția NNE-SSV.

## **II. Efecte secundare**

Efectele secundare nu sunt în mod direct provocate de mișcarea faliei, acestea rezultă din propagarea undelor seismice de la ruptură. Efectele secundare rezultă în urma propagării temporare a undelor seismice, dar pot să apară pe regiuni foarte mari, cauzând pagube importante. Acestea includ: vibrațiile seismice ale terenului, alunecările de teren, lichefierea, fisurarea, tasarea, precum și, replicile, sau alte tipuri de cutremure adiționale.

### **II.1. *Vibrațiile seismice ale terenului***

Vibrațiile seismice ale terenului sunt cauzate de undele seismice de adâncime și de suprafață. În general, severitatea vibrațiilor seismice crește pe măsură ce magnitudinea cutremurului crește și descrește pe

măsură ce crește distanța de la falie. Deși fizica undelor seismice este complexă, vibrațiile terenului pot fi explicate în termeni de unde de volum, compresionale, P, și de forfecare, S, și unde de suprafață, Rayleigh și Love. Undele P se propagă prin interiorul Pământului cu o viteză de aproximativ 15.000 km pe oră și sunt primele unde care provoacă vibrația unei clădiri mai mult pe verticală decât pe orizontală. Undele S sosesc după aceea și fac ca structura să vibreze transversal, ele sunt cele mai periculoase unde deoarece clădirile sunt distruse mai repede de mișcarea orizontală decât de cea verticală. De obicei, undele P și S provoacă vibrații de frecvență înaltă, în timp ce undele Rayleigh și Love, care sosesc ultimele, provoacă vibrații de frecvență joasă. Când o falie se rupe, undele seismice sunt propagate în toate direcțiile și fac ca terenul să vibreze la frecvențe cuprinse între 0,1 și 30 Hz. Undele compresionale și de forfecare provoacă vibrații de frecvență înaltă (>1Hz), care sunt mult mai eficiente decât vibrațiile de frecvență joasă în a face clădirile mai puțin înalte să vibreze. Undele Rayleigh și Love provoacă vibrații de frecvență joasă care sunt mai eficiente decât vibrațiile de frecvență înaltă în a face clădirile înalte să vibreze. Deoarece amplitudinile vibrațiilor de frecvență joasă scad mai încet decât vibrațiile de frecvență înaltă pe măsură ce distanța de la falie crește, pot să fie distruse clădirile înalte care sunt localizate la distanțe relativ mari față de falie. Caracteristicile geologice joacă un rol crucial în amplitudinea și lungimea unei vibrații seismice, de exemplu, pentru toate tipurile de cutremure, ariile joase, cu terenuri afânate, saturate cu apă, suferă cea mai mare distrugere.

## II.2. Alunecările de teren<sup>1</sup>

Cutremurele de pământ de diferite magnitudini declanșează diferite tipuri de alunecări de teren care pot fi sintetizate în tabelul de mai jos:

---

<sup>1</sup> „Alunecări de teren” este un termen generic pentru mai multe tipuri de alunecări. În funcție de adâncime, în clasificarea de față am stabilit că: pentru puțin adâncă „alunecarea de teren” antrenează solul (partea superioară, afânată, a litosferei, reprezentând stratul superficial al Pământului în care se dezvoltă viața vegetală) și/sau roca alterată, pentru adâncă „alunecarea de teren” antrenează solul și/sau roca alterată, chiar și cristalinul.

**Tabelul II.1.** Clasificare a alunecărilor de teren care pot fi declanșate de cutremure de magnitudine  $M_L$ 

Nume	Tipul de mișcare	Dislocarea internă <sup>1</sup>	Viteza <sup>2</sup>	Adâncime <sup>3</sup>	Estimări ale celor mai mici cutremure de magnitudine ( $M_L$ ) care pot declanșa alunecări
prăbușiri de roci	săltare, rostogolire, cădere liberă	mare sau foarte mare	extrem de rapidă	puțin adâncă	4
alunecări de roci	alunecare de translație pe o suprafață de forfecare bazală	mare	rapidă către extrem de rapidă	puțin adâncă	4
	alunecare pe o suprafață bazală de forfecare cu o mișcare frontală de rotație	ușoară spre moderată	lentă spre rapidă	puțin adâncă	5
avalanșe de roci	complexă implicând alunecarea și/sau curgerea sub formă de curent cu fragmente de roci	foarte mare	extrem de rapidă	adâncă	6
prăbușiri de teren	săltare, rostogolire, cădere liberă	mare sau foarte mare	extrem de rapidă	puțin adâncă	4
dislocări de teren	alunecare de translație pe o suprafață de forfecare bazală sau pe o arie cu argilă slabă, senzitivă	mare	moderată spre rapidă	puțin adâncă	4
avalanșe de teren	alunecare de translație cu o curgere subsidiară	foarte mare	foarte rapidă spre extrem de rapidă	puțin adâncă	6,5
alunecări ale blocurilor de roci	alunecare de translație pe o suprafață de forfecare bazală	ușoară spre moderată	lentă spre rapidă	adâncă	5

Nume	Tipul de mișcare	Dislocarea internă <sup>1</sup>	Viteza <sup>2</sup>	Adâncime <sup>3</sup>	Estimări ale celor mai mici cutremure de magnitudine ( $M_L$ ) care pot declanșa alunecări
alunecări de teren propriu-zise	alunecare pe o suprafață bazală de forfecare cu o mișcare de rotație frontală	ușoară spre moderată	lentă spre rapidă	adâncă	4,5
alunecări de blocuri de teren	alunecare de translație pe o suprafață bazală de forfecare	ușoară spre moderată	lentă spre rapidă	adâncă	4,5
curgeri lente de pământ	alunecare de translație pe o suprafață de forfecare bazală cu o curgere internă minoră	ușoară	foarte lentă spre moderată cu niște curenți foarte rapizi	în general puțin adâncă, uneori adâncă	5
deplasări laterale ale terenului	translație pe o zonă bazală de nisip lichefiat sau silt sau argilă slabă, senzitivă	în general moderată spre ușoară și uneori foarte mare	foarte rapidă	variabilă	5
curgeri rapide	curgere	foarte rapidă	foarte rapidă spre extrem de rapidă	puțin adâncă	5
alunecări submarine	complexă, în general implicând deplasări laterale și/sau curgere, uneori implicând alunecarea de teren propriu-zisă și/sau alunecarea de blocuri	în general mare sau foarte mare, uneori moderată sau ușoară	în general rapidă spre extrem de rapidă, uneori lentă spre moderată	variabilă	5

Sursă: Keefer (1984) cit in. Kramer (1996).

2. Dislocarea internă „ușoară” semnifică alunecarea care constă din unul sau câteva blocuri coerente, „moderată” semnifică câteva blocuri coerente, „mare” semnifică blocuri mici și numeroase, granule individuale de teren precum și, fragmente de roci, „foarte mare” semnifică aproape dezagregarea completă în particule individuale de teren sau în fragmente mici de roci.

3. Viteza: foarte lentă < 0,6m/an, 0,6–1,5 m/an, lentă < 1,5 m/lună, moderată 1,5 m/lună – 1,5 m/zi, rapidă < 0,3 m/min, foarte rapidă 0,3 m/min–3 m/sec, extrem de rapidă–3m/sec.

4. Adâncime: „puțin adâncă” semnifică grosime în general < 3m, „adâncă” grosime > 3m.

Mărimea ariei afectate de alunecările de teren provocate de un cutremur depinde de magnitudinea cutremurului, adâncimea focarului, caracteristicile topografice și geologice ale terenului de lângă falia care a generat cutremurul, frecvența și durata vibrațiilor. Alunecările de teren pot avea loc în timpul cutremurului sau la câteva ore, zile sau chiar săptămâni după producerea lui, în funcție de mărimea și durata șocului seismic și de potențialul de alunecare a zonei considerate. Cu cât potențialul de alunecare este mai mare (determinat de natura masei alunecătoare, de substratul de alunecare și de condițiile climatice), cu atât momentul declanșării alunecării în timpul vibrațiilor seismice este mai scurt.

Alunecările de teren provocate de cutremure pot fi împărțite în trei categorii principale: dislocări și prăbușiri, alunecări coerente, deplasări laterale și curgeri.

**Dislocările și prăbușirile** includ prăbușiri de roci, alunecări de roci, avalanșe de roci, prăbușiri de teren, dislocări de teren și avalanșe de teren. Materialul implicat în aceste cedări este forfecat, rupt și distorsionat aproape la întâmplare. Aceste tipuri de cedări apar de obicei în terenuri abrupte, provocând mișcări rapide de teren care duc la pagube devastatoare: avalanșele de roci și prăbușirile de roci provocate de cutremure au fost de-a lungul timpului printre cauzele cele mai importante ale pierderilor de vieți omenești.

**Alunecările coerente**, cum ar fi alunecări de roci și de teren propriu-zise, alunecări de blocuri de roci și de teren, curgeri lente de pământ, constau din blocuri coerente care se translatează sau se rotesc pe suprafețe de cedare oarecum mai adânci, în terenuri cu pante



moderate spre abrupte. Majoritatea alunecărilor coerente au viteze mai mici decât în dislocări și prăbușiri.

**Deplasările laterale și curgerile** implică de obicei terenuri lichefiabile, deși argilele senzitive pot produce alunecări care au caracteristici foarte similare. Din cauza rezistenței reziduale scăzute a acestor materiale, alunecarea poate să apară pe pante remarcabil de plane și poate să aibă viteze foarte mari.

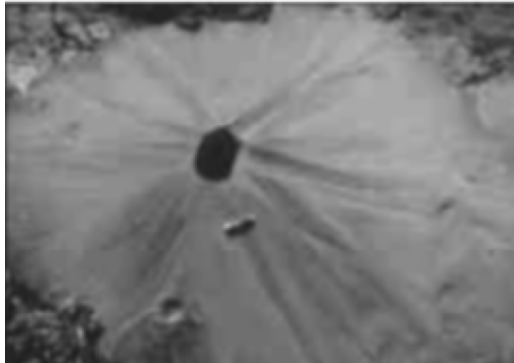
### II.2.1. Lichefierea

Unul dintre motivele pentru care terenurile afânate și saturate cu apă sunt supuse hazardului seismic este potențialul lor de a lichefia în timpul vibrațiilor seismice puternice. Ca o consecință a lichefierii, depozitele de nisip și silt<sup>5</sup> își pierd temporar rezistența mecanică și se comportă mai degrabă ca fluide vâscoase decât ca solide. Lichefierea are loc atunci când undele seismice de forfecare trec printr-un strat de teren, granular, saturat cu apă, și distorsionează structura lui granulară, provocând colapsul unor spații libere dintre particule. Dislocarea terenului generată de aceste colapsuri duce la transferul sarcinii de vibrație a terenului de la contactul granulă-granulă la apa din pori. Acest transfer de sarcină crește presiunea apei din pori, rezultând drenarea apei din pori, sau, dacă drenajul este constrâns, o creștere instantanee a presiunii apei din pori. Când presiunea apei din pori este aproape egală cu presiunea coloanei de teren, stratul granular începe să se comporte mai degrabă ca un fluid decât ca un solid pentru o perioadă de timp. Terenul în stare de lichefiere nu are rezistență mecanică și nu poate suporta nici o sarcină. Lichefierea este restrânsă la medii cu anumite condiții geologice și hidrogeologice, mai ales în ariile unde nisipurile și silturile au fost depozitate în ultimii 10.000 de ani și unde nivelul hidrostatic al apei subterane este la aproximativ 10 m de la suprafață. În general, cu cât un teren este mai nou și mai afânat și nivelul hidrostatic este mai ridicat, cu atât acesta este susceptibil la lichefiere.

Lichefierea provoacă trei tipuri de cedări ale terenului: deplasări laterale, curgeri și pierderea capacității portante. În plus, fenomenul de lichefiere crește tasarea și uneori generează „sand boils”, „fântâni arteziene” de apă și sedimente emanând din zona lichefiată presurizată (Fig. II.2.1).

---

<sup>5</sup> Silt-ul este material granular derivat din rocă, cu mărimea granulei între cea a nisipului și cea a argilei. Silt-ul poate apărea ca suspensii într-un rezervor de apă sau ca sediment depozitat pe fundul rezervorului de apă.



**Fig. II.2.1.** Fenomene de „sand boils” în Colorado (fotografie realizată de Universitatea din Colorado).

Fotografia arată unul dintre craterele de nisip denumite „*sand boils*”, formate lângă El Centro, în urma cutremurului din 15 octombrie 1979 din California. În localitățile unde nivelul apei este aproape de suprafață, compactarea materialelor saturate neconsolidate este de obicei însoțită de erupții de apă sau de amestecuri apă-sediment. Din cauza materialului din strat forțat să iasă la suprafață aria înconjurătoare se scufundă inegal. „*Sand boils*” pot provoca inundații locale și acumulări de silt.

**Deplasări laterale.** Deplasările laterale implică mișcarea laterală a unor blocuri mari de teren ca urmare a lichefierii într-un strat superficial. Mișcarea are loc ca răspuns la vibrațiile generate de un cutremur. Deplasările laterale se dezvoltă în general pe pante mai puțin înclinate, cel mai des sunt întâlnite pe cele între 0,3 și 3 grade. Mișcările orizontale în deplasările laterale sunt de obicei de 3–5 m, dar acolo unde pantele sunt favorabile și durata vibrațiilor este lungă, deplasarea laterală poate fi între 11 m și 17 m. Deplasările laterale de obicei rup intern roca formând numeroase fisuri și râpe.

Pagubele cauzate de deplasările laterale sunt rareori catastrofice dar sunt în majoritate disruptive. De exemplu, în timpul cutremurului din Alaska din 1964 mai mult de 200 de poduri au fost distruse de deplasările laterale ale depozitelor aluvionare spre canalele râurilor. Aceste depozite au comprimat podurile, îndoind punțile, zidurile de sprijin și stâlpii de susținere.

Deplasările laterale sunt în mod particular distructive pentru conducte. În 1906, în San Francisco, au fost distruse numeroase

conduce în timpul cutremurului din cauza deplasărilor laterale. Distrugerile rezervoarelor de apă au împiedicat eforturile de stingere a incendiilor izbucnite în timpul cutremurului. Astfel, o dislocare de teren, mai degrabă nesemnificativă, de numai 2,4 m, a fost în cea mai mare parte responsabilă de distrugerea orașului San Francisco.

Vibrațiile seismice prelungite pot declanșa și deplasări de translație a maselor de roci, chiar în terenuri cu suprafața cvasihorizontală. În timpul cutremurului din 1960, în zona Neltum (Chile) situată la cca 200 km de epicentru, masele de roci cineritice și tufurile vulcanice s-au deplasat sute de metri pe orizontală din cauza componentelor tixotropice<sup>6</sup> ale acestor roci.

**Curgeri.** Curgerile, constând din teren lichefiat sau blocuri de material intact care se află pe un strat de teren lichefiat, sunt cele mai catastrofice tipuri de alunecări de teren cauzate de lichefiere. Curgerile au loc de obicei pe câțiva m, dar ajung și la câțiva km dacă condițiile geometrice permit. Curgerile „călătorească” cu viteze de zeci de km pe oră. Curgerile se declanșează de obicei în nisipuri afânate, saturate cu apă, sau silturi, sau pe pante mai mari de trei grade. Curgerile pot avea loc pe uscat sau submarin. Multe dintre cele mai mari și distrugătoare curgeri submarine au transportat secțiuni întinse din facilitățile portuare din Seward, Whittier și Vladez din Alaska în timpul cutremurului din 1964, din apropierea strâmtoarei *Prince William Sound*. Aceste curgeri, la rândul lor, au generat valuri maritime mari, care au depășit coasta producând pagube materiale, precum și, pierderi de vieți omenești. Cutremurul din 1920 din Kansu, China, a provocat câteva curgeri de 0,1 km în lungime și lățime, omorând peste 200.000 de oameni.

**Pierderea Capacității Portante.** Atunci când terenul suportă o clădire sau alte structuri și lichefiază, pierzând din rezistența mecanică, au loc deformări mari și tasări<sup>7</sup> diferențiale ale terenului, care fac ca

<sup>6</sup> Tixotropia este proprietatea rocilor argiloase bentonitice de a se fluidiza sub acțiunea unor forțe dinamice și de a se solidifica după încetarea vibrațiilor, dar cu degradarea legăturilor structurale.

<sup>7</sup> Condiția esențială pentru dezvoltarea tasărilor, din punctul de vedere al mecanicii, o reprezintă compresibilitatea. Aceasta, la rândul său, depinde de porozitatea, rezistența scheletului și elasticitatea rocilor. Apa provenită din precipitații sau din topirea zăpezilor dizolvă scheletul de carbonat de calciu din masa rocii, micșorează coeziunea, schimbă starea de consistență, mărește densitatea aparentă, declanșând sau amplificând procesul de tasare.

structura să se încline. Cel mai spectaculos exemplu de cedare a capacității portante a avut loc în timpul cutremurului din Niigata din 1964, din Japonia, de magnitudine 7,4 pe scara Richter, care a omorât 36 de persoane, a distrus 3018 de case și a provocat pagube altor 9750 de case din oraș.



**Fig. II.2.2.** Lichefiere și tasări diferențiate în Niigata  
(fotografie realizată de *National Geophysical Data Center*).

Fotografia de mai sus prezintă o imagine aeriană a caselor înclinate din Niigata. În timpul acestui eveniment seismic câteva clădiri de patru etaje din complexul de blocuri Kwangishicho s-au înclinat la 60 de grade. Multe dintre clădiri au fost puse la loc în poziția orizontală, fiind susținute cu stâlpi și refolosite. Aproximativ o treime din oraș s-a tasat aproximativ la doi metri în urma compactării nisipului.

Terenul care a lichefiat la Niigata exemplifică geometria subsuprafeței pentru ca lichefierea să provoace cedări de susținere: un strat saturat lipsit de coeziune (nisip sau silt) care se extinde din apropierea suprafeței la o adâncime aproximativ egală cu lățimea clădirii.

#### II.2.2. Alunecări de teren provocate de cutremurul din 4 martie 1977

În România, cutremurele majore au provocat alunecări și prăbușiri de roci, alunecări de fragmente de rocă care se formează pe pantele foarte înclinate, fenomene de lichefiere, „sand boils” etc.



**Fig. II.2.3.** Zone afectate de alunecări de teren, prăbușiri de roci și lichiefieri în timpul cutremurului din 4 martie 1977, Vrancea (după Mărmureanu et. al, 2002).

Potențialul de alunecare este deosebit de ridicat în zona Miopliocenă a Carpaților de Curbură, lucru dat de caracterul pseudocoerent și de plasticitatea depozitelor, dar și de succesiunea rocilor coerente și a celor plastice.

În urma cutremurului din 4 martie 1977 majoritatea alunecărilor s-au produs prin reactivarea unor alunecări mai vechi în timpul sau imediat după cutremur. Câteva dintre ele s-au declanșat la un interval de timp mai mare, Jugureni 24 de ore, Slon 44 de ore, Albești 3 săptămâni, Zăbala 5 săptămâni.

Alunecarea de la Slon (regiunea Vrancea) a distrus 29 de case. Materialul alunecător era format din argile și din argile nisipoase cu fragmente de gresie. Fruntea alunecării a barat valea râului Drăjnița și acumulările de apă din spatele barajului natural s-au extins pe o arie de 500 m (Mândrescu et al., 1999).

De asemenea, materialul alunecat pe versanții vrânceni a barat cursul de apă al râului Zăbala, formând un lac de 2 km lungime și aproape 40 m adâncime și pentru a evita viiturile a fost necesară intervenția de urgență pentru îndepărtarea barajelor naturale.

Zonele de alunecări mai cunoscute din bazinul superior al Râmnicului sunt cele de la Jiția, Dumitrești, Lacul Baba, Andreiașu,

Reghiu, iar din bazinul Putnei, cele de la Nereju, Năruja și Valea Sării. Alunecări și prăbușiri impresionate se întâlnesc și pe malul stâng al Siretului, așa cum sunt cele de la Piscul Corbului. De asemenea, s-au semnalat prăbușiri de roci la Siriu și Calvini (Buzău), Drajna (Prahova) și în alte zone cu relief accidentat.

Figurile II.2.4, II.2.5, II.2.6 prezintă alunecările de teren declanșate de către cutremurul din 4 martie 1977, în Munții și Subcarpații Buzăului.



**Fig. II.2.4.** Alunecare de blocuri de roci de-a lungul unei suprafețe plane, declanșate în estul Carpaților (fotografie realizată de Dr. Dan Bălțeanu, Academia Română).

Alunecarea blocurilor de roci a distrus casele din satul Colți din Munții Buzăului.



**Fig. II.2.5.** Alunecare de translație, de aproximativ 30–40 m adâncime, în Subcarpații Buzăului, reactivată de cutremurul din 4 martie 1977 (fotografie realizată de Dr. Dan Bălțeanu, Academia Română).

Alunecarea a apărut în molasa Neogenă a pantei sudice a Dealului Bliidișel în Subcarpații Buzăului și a blocat valea din martie până în

aprilie 1973. Alunecarea a fost reactivată în timpul cutremurului din 4 martie 1977, din Carpații de Curbură.



**Fig. II.2.6.** Prăbușiri de roci în Munții Buzăului ca urmare a cutremurului din 4 martie, 1977 (fotografie realizată de Dr. Dan Bălțeanu, Academia Română).

Volumul de rocă dislocată în urma prăbușirilor de roci din Munții Buzăului a fost de 20–50 ori mai mare decât volumul anual care cade de pe stânci din alte cauze.

### ***Fenomene de lichefiere***

În urma cutremurului din 4 martie 1977 s-au declanșat și fenomene de lichefiere pe o arie foarte întinsă, de la Iași la Ostroveni, în special fenomene de „sand boils”. La Ostroveni craterile de nisip au ajuns la dimensiuni impresionante: 4 m lungime și 2–3 m lățime, cu o înălțime de aproximativ 0,6 m.

Fenomene importante de lichefiere au apărut la Damian, un sat situat pe malul drept al unui tribut ar al Jiului, la 290 km depărtare de epicentrul cutremurului, unde mai mult de șaptezeci de case de foarte bună calitate au fost distruse (Mândrescu et al., 1999). Terenul în care s-au făcut fundațiile era format din nisipuri eoliene fin-medii cu un grad scăzut de nonconformitate. În depozitele de nisip exista o presiune ridicată a apei din cauza unui lac din apropierea satului. Acest lucru a fost prielnic declanșării procesului de lichefiere (Mândrescu et al., 1999).

Lichefierea nisipurilor a produs și colmatarea parțială sau completă a multor fântâni din lunca Dunării.

Un fenomen particular provocat parțial de lichefiere a fost observat în lunca Dunării în zona orașului Giurgiu. Fenomenul de

subsidență a distrus un baraj și a format o gaură imensă de dimensiuni  $40 \times 30 \times 8$  m (Mândrescu et al., 1999).

### II.3. Tsunamiuri și Seișe

Tsunamiurile sunt valuri provocate de mișcarea instantanee a unei arii întinse a fundului mării în timpul unui cutremur submarin. Tsunamiurile sunt numite de multe ori valuri tidale, dar acest termen nu este bine folosit deoarece aceste valuri nu sunt provocate de acțiunea tidală a Lunii și Soarelui. Pe mare tsunamiurile străbat distanțe foarte mari cu viteze chiar de ordinul miilor de km/h, dar sunt dificil de detectat deoarece înălțimea unui tsunami este de obicei mai joasă de 1 m și distanța dintre crestele valurilor poate fi foarte lungă, de sute de km. Când tsunamiurile ating apele mai puțin adânci din jurul insulelor sau a unui șelf continental, înălțimea valurilor crește de mai multe ori, uneori atingând 30 m. Distanța mare dintre crestele valurilor previne ca tsunamiurile să disipeze energie și ridică nivelul apei de-a lungul țărmului.

Pe 26 decembrie 2004, un cutremur cu magnitudinea din moment de 9,3, produs la zona de contact dintre placa tectonică Australiană și cea Eurasiatică, a făcut să se ridice până la câțiva metri arii întinse din fundul oceanului Indian, dislocând volume uriașe de apă.

Prima dată, tsunamiurile au lovit coasta de nord-vest a Sumatrei. În anumite porțiuni ale coastei tsunamiurile au avut înălțimi de 30 de metri deasupra nivelului mării atunci când s-au prăbușit pe țărm. În decurs de 15 minute de la producerea cutremurului tsunamiurile înghițiseră Banda Aceh, un oraș din nordul Sumatrei, ucigând sute de mii de persoane. Valurile s-au îndreptat, însă, și spre coasta Thailandei unde au ajuns după două ore, dar și spre Sri Lanka unde au ajuns după trei ore. La aproximativ opt ore după ce se formaseră, tsunamiurile au ajuns în Somalia, pe coasta de est a Africii, unde au mai făcut alte aproximativ 300 de victime.



Fig. II.3.1. Coasta Sumatrei după tsunamiuri, 2004 (sursă internet).



Valurile care apar în corpurile de apă se numesc seișe. În general, ele sunt generate de undele seismice de perioada lungă care coincid cu perioada naturală de oscilație a apei din lac, mare sau rezervor. Seișele pot fi observate la distanțe mari de sursa unui cutremur. Cutremurul din 1964, Good Friday, din Alaska, a produs valuri devastatoare în lacurile din Louisiana și Arkansas (Spaeth și Berkman, 1967). Alt tip de seișe se formează atunci când fenomenul de faliere, rupere, provoacă deplasări într-un lac sau rezervor. În 1959, mișcări verticale de faliere din lacul Hebgen au produs seișe care au depășit barajul Hebgen și au expus fundul lacului adiacent barajului (Steinbrugge și Cloud, 1962).

#### **II.4. Efecte Hidrogeologice**

Unul dintre exemplele cele mai dramatice despre cum producerea cutremurelor poate avea efecte hidrogeologice au fost furnizate de cutremurul din Alaska din 1964. Cutremurul care a avut loc în apropiere de Prince William Sound a fost unul de o severitate neobișnuită, nu numai în termenii de magnitudine dar și în termeni de durată și arie acoperită. A avut o magnitudine de 8,5 pe scara Richter, vibrațiile terenului au durat de la 3 la 4 minute, și zona distrusă a acoperit o arie de 50.000 de mile pătrate (129.499 km<sup>2</sup>) (Krauskoph, 1968). Imediat după cutremur au apărut hidroseisme în foraje, nu numai în Statele Unite, dar și în toată lumea. Cel mai mare hidroseism înregistrat, care a apărut în afara statului Alaska, a fost unul observat într-un foraj din statul Dakota de Sud la marginea nord-vestică a Black Hills. Creșterea maximă a nivelului apei din foraj a fost de 7 metri, iar în Australia a fost înregistrată o schimbare a nivelului apei din foraj de aproape 1 m. Unul dintre aspectele fascinante ale hidroseismelor este faptul ca ele apar doar în unele foraje și nu în altele, chiar și atunci când forajele penetrează același acvifer.

Nivelul hidrostatic a suferit o modificare bruscă și în urma cutremurului din 4 martie 1977, din România, oscilând de la câțiva cm la un metru, în forajele de la Vădastra și Teslui (Olt), modificările persistând și după cutremur, timp de 30 de zile.

În timpul cutremurelor pot să apară sau să dispară izvoare. La Brăești – Buzău, după cutremurul din 1977, au apărut izvoare noi în urma unei alunecări de teren. Tot în timpul cutremurului din 1977 s-a mărit debitul unor izvoare minerale cunoscute de la Călimănești, Sinaia și Slănic. În Dobrogea, mișcările seismice puternice au reactivat izvoarele vechi care alimentau lacul Techirghiol, determinând temporar

ridicarea nivelului acestuia cu cca. 20 cm. Aceleași mișcări seismice au dus la o creștere a debitului sondelor petroliere de la Călimănești, Cernele și Giubega (jud. Argeș), Brabova și Hârsești (jud. Dolj).

### **II.5. Inundații**

Existența unor lucrări hidrotehnice pe diferite râuri ca: baraje, diguri etc. reprezintă o amenințare permanentă pentru ariile și localitățile situate în aval. Cedarea unui baraj în timpul unui cutremur puternic poate provoca o adevărată catastrofă. În cazul regiunii Vrancea lacurile de acumulare de pe râul Siret pot constitui o amenințare reală de care trebuie să se țină cont. Barajul cel mai apropiat, situat în amonte de orasul Adjud, de 29 m înălțime, împreună cu digurile, care se întind pe o lungime de 14 km, pot reține un volum de apă de 120 mil. m<sup>3</sup>. Suprafața mare a bazinului de alimentare (20.192 km<sup>2</sup>) poate aduce nivelul apei din lacul Berești la cota maximă în timpul unor ploi torențiale sau unei topiri bruște a zăpezii. Producerea unui cutremur vrâncean major în această perioadă poate periclita integritatea barajului sau a digurilor.

### **II.6. Emanatii de gaze și vulcani noroioși**

În timpul cutremurelor se pot activa rețele de fisuri din adâncime, activare care deschide temporar unele rezervoare mici de gaze naturale sau de dioxid de carbon. În zona Berca, modificările rețelei de fisuri în timpul cutremurului din 4 martie 1977 au dus la stingerea unor vulcani noroioși (Pâclele mari, Pâclele Mici) sau la reactivarea unora (Berca de Sud, Fig. II.6.1).



**Fig. II.6.1.** Conuri de vulcani noroioși în anticlinalul Berca al Subcarpaților de Curbură (fotografie realizată de Dr. Dan Bălțeanu, Academia Română).

De asemenea, în alte regiuni din țară, cum ar fi regiunile Buziaș și Covasna, a fost observată intensificarea acțiunii mofetice.

### **II.7. Fenomenul de amplificare**

Solurile și rocile sedimentare ușoare din crustă pot modifica vibrațiile seismice prin fenomenul de amplificare. Fenomenul de amplificare crește magnitudinea undelor seismice generate de cutremure. Fenomenul de amplificare este influențat de către grosimea și proprietățile fizice ale straturilor geologice. Clădirile și structurile construite pe terenuri afânate și neconsolidate sunt expuse la riscuri seismice ridicate. Fenomenul de amplificare poate să apară, de asemenea, în bazine umplute cu stive groase de sedimente, dar și pe culmile lor.

### **III. Problemele societății expuse riscului seismic**

Pagubele provocate de cutremure așezărilor omenești apar atunci când oamenii au construit structuri care nu pot face față efectelor cutremurelor de magnitudine ridicată.

Capitalul de locuințe, infrastructura, afacerile majore sunt foarte importante pentru dezvoltarea economică a unei țări. Abordarea gradului de siguranță a clădirilor, structurilor critice, infrastructurii și aprecierea costurilor potențiale pentru ridicarea lui prezintă interes atât pentru guvern, cât și pentru întreprinzători privați și persoane individuale. Ele fac parte din problemele pe care trebuie să le abordeze o țară expusă riscului seismic.

#### **III.1. Elementele la risc și efectele cutremurelor asupra lor**

Elementele la risc se referă la oricare dintre valorile sociale (oameni, proprietăți, activități etc) care pot fi afectate negativ de incidența unui hazard natural, în cazul de față, cutremurele.

În paginile următoare vom face referință la ele, arătând cum pot fi afectate:

– **Barajele:** cutremurele de magnitudine ridicată le pot distruge și acest lucru poate cauza inundații catastrofale în localitățile aflate în aval de baraje.

– **Clădirile** care se prăbușesc pot prinde ca într-o capcană, răbind și omorând oamenii aflați în ele. Chiar și în activitatea de îndepărtare a molozului și în activitățile de salvare, viața oamenilor este în pericol.



**Fig. III.1.** Clădiri prăbușite în Kobe (după un raport de J.P. Bardet et al. (*Gifu Univ.*) la USC, cu privire la cutremurul din Kobe, 1995)

– **Infrastructura:** un cutremur poate distruge podurile, șoselele, căile ferate etc., îngreunând deplasarea oamenilor și a bunurilor materiale. O infrastructură distrusă afectează locuitorii unei țări deoarece ei nu mai pot merge la muncă, la școală etc; o infrastructură distrusă îngreunează accesul oamenilor la bunurile vitale, ca apa și hrana, desparte comerțanții de clienții și furnizorii lor etc.



**Fig. III.2.** Autostradă suspendată, prăbușită în Kobe (după un raport de J.P. Bardet et al. (*Gifu Univ.*) la USC, cu privire la cutremurul din Kobe, 1995).

Autostrada suspendată din Fig. III.2 a format un pendul invers pe care coloanele de susținere nu au fost în stare să-l suporte sub acțiunea undelor seismice de forfecare.

– **Podurile** reprezintă o legătură vitală pentru transport, chiar atunci când au câteva avarii minore ele fac accesul la unele zone cu desăvârșire inaccesibil.

– **Facilitățile de comunicare** sunt conexiuni dintre comunități și serviciile externe. Ele includ conductele de apă și gaze, sistemele de transport, rețelele de electricitate și comunicație. Vibrațiile terenului și fenomenul de amplificare pot duce la ruperea conductelor, prăbușirea stâlpilor de electricitate, fisurarea și deplasarea șoselelor și căilor ferate,

oprirea comunicării radio și telefonice. Facilitățile de comunicare trebuie să rămână funcționale după un cutremur pentru a permite operațiunile de salvare, reabilitare și reconstrucție și pentru a furniza informații importante oamenilor.

Distrușgerea facilităților de comunicare au făcut imposibilă lupta pompierilor cu incendiul provocat de spargerea conductelor de gaze (Fig. III.3).



**Fig. III.3.** Incendiu în Kobe după cutremur, 1995 (de la Univ. din Texas).

O mare parte din orașul Kobe a ars, lucru care a dus la un număr ridicat de pierderi de vieți omenești.

– **Serviciile publice** includ poliția, pompierii, spitalele, adăposturile și alte facilități care aduc importante servicii comunității. Aceste servicii trebuie să fie funcționale în timpul unui cutremur.

– **Afacerile:** efectele cutremurelor pot aduce pierderi mari afacerilor, atât corporațiilor mari, cât și firmelor mici. Când o companie este forțată să-și oprească activitatea chiar și pentru o zi, pierderea economică poate fi imensă, în special când piața de desfacere a companiei este la nivel național și global. De asemenea, efectele cutremurelor pot provoca pierderi economice care sunt o adevărată povară pentru proprietarii de supermarketuri sau magazine mici, aceștia întâmpinând dificultăți mari în acoperirea pagubelor.

– **Gradul de pregătire individuală:** deoarece potențialul de apariție a cutremurelor și de distrugere a proprietăților este relativ ridicat, este nevoie neapărat să fie îmbunătățite nivelurile de informare și pregătire ale oamenilor. Așezarea mobilei mai grele la parterul unei case, asigurarea proprietății, ancorarea caselor de fundații etc. sunt doar câțiva pași pe care îi pot face proprietarii informați de iminența unui cutremur.

- **Oamenii:** cel mai important și de nedorit „efect” al cutremurelor este faptul că atât în timpul, cât și după un cutremur, oamenii pot fi răniți sau omorâți. Oamenii pot fi răniți sau omorâți înăuntru sau în afara clădirilor din cauza prăbușirii mobilei, elementelor structurale, echipamentelor etc. De asemenea, căderea liniilor de curent, conductele sparte de apă și gaze pot pune în pericol viața oamenilor, provocând incendii sau inundații. În majoritatea lor elementele expuse la risc pot afecta, prin avariere sau distrugere, oamenii, îngreunând buna desfășurare a vieții lor în comunitate.



**Fig. III.4.** Dărâmături în Kobe după cutremur, 1995 (de la *Kobe Univ.*).

Figura III.4 demonstrează cât de periculos este să fii în stradă după un cutremur. În stradă s-au prăbușit semnele de circulație, ferestre și fațade întregi ale clădirilor. Mai degrabă, în timpul unui cutremur este mai bine să se caute adăpost sub un mobilier greu decât să se alerge în stradă.

### **III.2. Efectele cutremurelor vrâncene majore asupra capitalei țării noastre**

Capitala țării noastre este puternic expusă hazardului seismic care provine din zona subcrustală Vrancea. Pe parcursul a 60 de ani din secolul trecut, Bucureștiul a fost expus la patru cutremure puternice care au avut loc în zona Vrancea: 10 noiembrie 1940 ( $M = 7,4$ ,  $h = 150$  km), 4 martie 1977 ( $M = 7,2$ ,  $h = 109$  km), 30 august 1986 ( $M = 7$ ,  $h = 133$  km) și 30/31 mai 1990 ( $M = 6,7/6$ ,  $h = 91/79$  km).

Cutremurul din 4 noiembrie 1940 a provocat prăbușirea blocului Carlton (una dintre cele mai grave distrugerii de atunci) și a avariat numeroase construcții. Cât privește numărul de victime s-a estimat numărul acestora la 1000 de morți și aproximativ 4000 de răniți.

Cutremurul din 4 martie 1977 a fost un eveniment seismic major prin datele sale de natura seismologică (magnitudine, mecanism din focar, arii afectate de intensități ridicate), pe de o parte, iar, pe de altă parte, prin efectele sale socio-economice.

Conform Raportului Băncii Mondiale P-2240-RO întocmit imediat după cutremurul din 4 martie 1977:

– din totalul de 1578 de victime, 1424 (90%) și-au pierdut viața în București;

– din totalul pagubelor materiale capitala a suferit 2/3.

În București s-au prăbușit 32 de blocuri de locuințe având între 8 și 12 etaje (aproape toate aceste blocuri au fost avariate într-o măsură mai mică de cutremurul din 10 noiembrie 1940), au fost grav avariate aproximativ 150 de clădiri având între 4 și 6 etaje și au fost grav afectate rețelele de alimentare cu energie electrică, apă, gaze.

La nivelul întregii țări, aproximativ 33000 de locuințe s-au prăbușit sau au fost grav avariate, 1571 de oameni și-au pierdut viața și au fost răniți alți 11300. Nivelul pierderilor materiale înregistrate de economia românească s-a ridicat la 2 miliarde de dolari pentru vremea aceea.

Pe baza experienței cutremurului din 1977, se poate spune că, în cazul altui cutremur vrâncean major, peste 2/3 din riscul seismic al României va fi localizat în București.



**Fig. III.2.1.** Blocul *Wilson* avariat în urma cutremurului din 4 martie 1977 (de la INCERC).

### Concluzie

Având în vedere efectele cutremurelor care pot avea un impact negativ sever asupra societății, devenind, astfel, nu numai hazard seismic, dar și risc seismic pentru state – acestea, indiferent de nivelul de dezvoltare, suferă pierderi importante, statele în curs de dezvoltare își numără pierderile mai mult în vieți omenești omorâte sau rănite, iar statele puternic dezvoltate mai mult în pagube aduse bunurilor materiale, avarii sau distrugerii – se pune problema reducerii riscului seismic, prin reducerea vulnerabilității și expunerii elementelor la risc. Pentru aceasta factorii de decizie trebuie să dezvolte programe de management al riscului seismic printr-un cadru coerent și legal, dar și prin alocarea de finanțe, ori de câte ori este necesară îmbunătățirea acestor programe. Ele trebuie dezvoltate atât la nivel național, cât și internațional. La nivel național, indiferent de prioritățile de buget, autoritatea națională trebuie să acorde neapărat atenție complexității și amplitudinii hazardurilor seismice asupra propriului teritoriu. Deși, la ora actuală, întreaga lume este zguduită mai degrabă de criza economică, să nu uităm că întotdeauna un hazard seismic poate lovi mai crâncen decât orice criză socio-economică și fără susținerea financiară a strategiilor de dezvoltare socio-economică durabilă niciun stat nu se poate considera în siguranță în fața efectelor directe și secundare ale cutremurelor majore.

### Bibliografie:

- [1] Bolt, B. A., 1999. *Earthquakes*, W.H. Freeman, 4<sup>th</sup> edition.
- [2] Delong, Z., 1999. *Soil Liquefaction in Earthquakes-Its Effects on Structures and How to Avoid It*. Abstract, Earthquake Engineering Research Institute.
- [3] Ganevi, T., Yamazaki, F., Ishizak, H Kitazawa, N, 1998. *Response Analysis of the Higashid-Kobe Bridge and Surrounding Soil in the 1995 Hyogokendnanbu Earthquake*, Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 557–576.
- [4] Hays, W.W., 1981. *Facing Geologic and Hydrologic Hazards-Earth Science Considerations*: US Geological Survey Professional Paper 1240B, 108.
- [5] Kramer, S., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice – Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, Prentice-Hall Inc., London.
- [6] Mândrescu, N., Radulian, M., 1999. *Macroseismic field of the Romanian Intermediate-Depth Earthquakes*, in *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*, Kluwer Academic Publishers, Olanda, 163–173.
- [7] Mărușeanu, C., 1994. *Urbanism și protecția mediului Geologic*, Editura Universității București, 18–47.



- [8] Moldoveanu-Constantinescu, C., 2001. *Lucrare de dizertație – Cutremurele, fenomenologie și impact distructiv; Impactul cutremurelor majore din Vrancea asupra zonelor dens populate*, Universitatea București.
- [9] Mărmureanu, G., Pantea, A., Mărmureanu, A., Mândrescu, N., 2002. *The vulnerability and resilience of large urban systems to natural and technological disasters from Romania and neighbouring region*, IIASA Publications, Laxenburg, Austria. (<http://www.iiasa.ac.at/Research/RMS/dpri2002/Papers/marmureanu.pdf>).
- [10] Radu, C., Polonic, G., 1982. *Seismicitatea teritoriului Romaniei cu privire specială la regiunea Vrancea*, în *Cutremurul de pământ din Romania de la 4 martie 1977*, Ed. Academiei, 75–136.
- [11] Sandi H., 1983. *Report to the 8<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering*, EAEE, Skopje.
- [12] Spaeth, M.G., Berkman, S.C., 1967. *The tsunami of March 28, 1964, as recorded at tide stations*, ESSA Technical Report C&GS 33, U.S. Coast and Geodetic Survey, Rockville, Maryland.
- [13] Steinburgger, K.V., Cloud, W.K., 1962. *Epicentral intensities and damage in the Hebgen lake. Montana Earthquake of August 17, 1959*, Bulletin of the Seismological Society of America, v. 52, no. 2, 181–234.

### Proiecte de cercetare:

Clackamas County Mitigation Plan: *Risk Assessment*. RARE/ONHW, September 2002.

### Surse internet:

#### *Earthquakes*

<http://www.science.sjsu.edu/scied/255/cmanganaro/index.htm>

#### *Earthquake Effects*

<http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/effects-kobe.html>

*Earthquake Basics Liquefaction, What it is and what to do about it*, Earthquake Engineering Research Institute, [www.eri.org/eq\\_Basics/lig/LIQUEFAC.html](http://www.eri.org/eq_Basics/lig/LIQUEFAC.html)

#### *Geotechnical Failures in Earthquakes*

<http://www.cen.bris.ac.uk/civil/students/eqteach97/geo1.htm>

*Soil Liquefaction Web site*, University of Washington,

[www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/main.html](http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/main.html)

*The Chi-Chi, Taiwan Earthquake of September 21, 1999*, EERI Special Earthquake Report, Oct 1999 [www.eeri.org](http://www.eeri.org)

*The Izmit (Kocaeli), Turkey Earthquake of August 17, 1999*, EERI Special Earthquake Report, Oct. 1999 [www.eeri.org](http://www.eeri.org)