

EPECTELE FIZICE ALE CUTREMURELOR ASUPRA COMPONENTELOR MEDIULUI NATURAL. CAUZE ȘI MOD DE MANIFESTARE

Cutremurele, ca și alte evenimente tectonice, se manifestă de când Pământul s-a individualizat ca entitate în Univers. De-a lungul a miliarde de ani, aceste fenomene au jucat un rol important în modelarea aspectului fizic al planetei noastre, atât al suprafețelor de uscat continental, cât și al adâncurilor oceanice. Valul de energie care este eliberat odată cu producerea cutremurului afectează, deopotrivă, adâncurile Pământului și partea superficială a scoarței terestre, modificând natura și comportamentul unor roci, sedimente sau alte materiale, conferindu-le acestora instabilitate. Astfel, putem vorbi de ridicarea sau de coborârea unor fragmente uriașe (blocuri) de litosferă, de apariția unor fisuri, fracturi în scoarța terestră, de declanșarea unor alunecări de teren, de căderi de roci, avalanșe de roci sau zăpadă, de lichefiere, de tsunami etc.

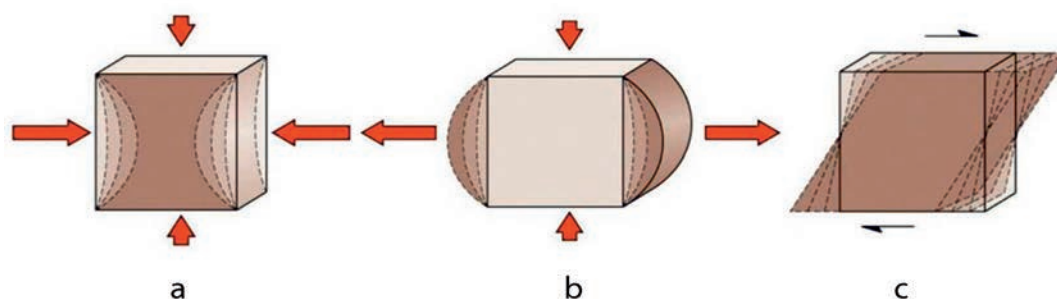
Un singur eveniment seismic nu poate cauza apariția unor munți sau individualizarea unor văi, aceste structuri formându-se gradual (pas cu pas), în urma mai multor evenimente de acest fel, de-a lungul a milioane de ani. Așadar, iată cum munți formați pe blocuri faliat ori văi adânci de graben pot constitui rezultatul manifestării în timp geologic a forțelor tectonice, inclusiv a cutremurelor.

FORȚELE TECTONICE ȘI REZULTATUL MANIFESTĂRII LOR: CUTE ȘI FALII

Pentru a înțelege modul în care mișcările seismice pot să modeleze interiorul planetei noastre, trebuie să înțelegem care sunt mecanismele care generează aceste mișcări sau care pot fi generate de către mișcările seismice. Cu alte cuvinte, vom analiza comportamentul pe care interiorul Pământului îl manifestă sub acțiunea celor mai importante forțe legate de Pământ: **forțele tectonice**.

Forțele tectonice sunt forțele care generează solicitări asupra structurilor geologice și au ca rezultat ridicarea, mișcarea sau deformarea unei părți din scoarța terestră. Forțele pot să se manifeste preponderent pe verticală sau pe orizontală. Rezultatul celor manifestate pe verticală pot fi ridicări sau coborâri ale unor porțiuni din scoarța terestră. În cazul celor manifestate pe orizontală, pot apărea trei situații: sensul predominant al forțelor să fie convergent (regim compresional – fig. IV.1a), divergent (regim extensional, tensional – fig. IV.b) sau în două direcții diferite (regim de forfecare – fig. IV.1c). Rezultatul celor trei situații menționate se materializează preponderent în **mișcare** și **deformare**.

IV

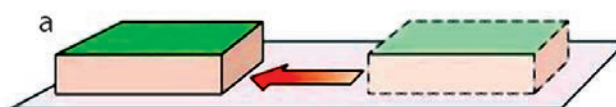
fig.
IV.1

Modul de manifestare a forțelor tectonice în scoarța terestră: a – compresional, b – extensional, c – de forfecare.

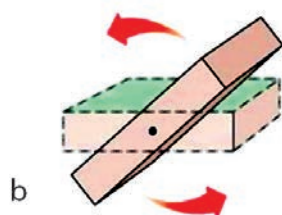
Deformarea este un proces important care se referă la toate modificările care au loc în forma și/sau mărimea corpurilor de roci. Aceasta reprezintă rezultatul acțiunii unei forțe tectonice pe o anumită unitate de suprafață (**stress**). Așadar, în cazul aceleiași intensități a forței, gradul de deformare depinde de suprafața asupra căreia această forță acționează (fig. IV.2). Sub acțiunea forțelor tectonice, în cadrul deformării, modificarea formei structurilor geologice este precedată de o deplasare și de o schimbare a orientării în cadrul acestor structuri (fig. IV.3).

fig.
IV.2

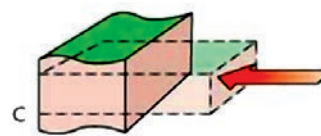
Gradul de deformare depinde de suprafața asupra căreia forța acționează

fig.
IV.3

Schimbarea poziției (deplasare)



Schimbarea orientării

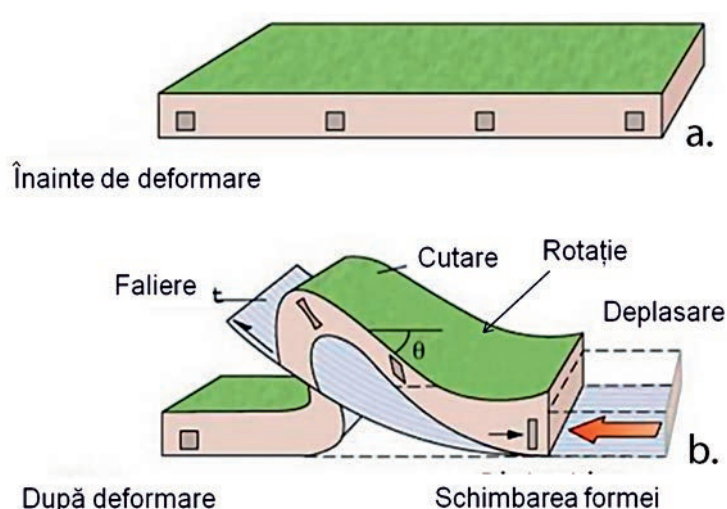


Schimbarea formei

Rezultatul acțiunii forțelor tectonice în scoarța terestră: a. schimbarea poziției, b. schimbarea orientării, c. schimbarea formei

Așadar, în timp geologic, ca rezultat al manifestării forțelor tectonice mai-sus prezentate, în scoarța terestră pot să apară: **deformări plastice (cute)** – în regim compresional, **deformări rupturale (falii)** – în regim compresional, extensional, de forfecare și **șariaje** – în regim de forfecare.

Factorii care influențează rezistența unei roci la deformare sunt: temperatura și presiunea din interiorul Pământului, compoziția rocii și intervalul de timp în care roca este supusă stressului. Comportamentul unei structuri geologice supusă unui stress poate fi rezumat în figura IV.4. La început apare deplasarea, apoi schimbarea orientării și cutarea, până aici păstrându-se continuitatea structurii geologice. Dacă acțiunea forței continuă, continuitatea structurii afectate se întrerupe, producându-se ruperea și deplasarea masei de roci situate deasupra planului de rupere.



Comportamentul unei structuri geologice aflate în poziția inițială de formare și supusă unui stress

Cutarea reprezintă un mod de răspuns al straturilor de roci la stress.

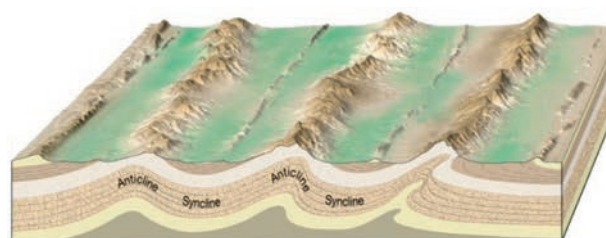


Cutele sunt curburi ale structurilor geologice, formate dintr-o parte ridicată, numită *anticlinal*, și o parte coborâtă, numită *sinclinal*, care iau naștere în urma manifestării compresionale a forțelor tectonice (fig. IV. 5,6).



Anticlinal și sinclinal în strate cutate, Newfoundland, New Jersey (Sursă: <http://www.rci.rutgers.edu/~schlisch/structureslides/rte23folds.gif>)

Cute pot fi observate în unele roci care au comportament plastic, cum este sarea (fig. IV.7). Sarea, datorită proprietății plastice pe care o are, creează structuri cutate care străpung stratele acoperitoare sub forma unor „sâmburi” ce pot ajunge la grosimi foarte mari (2.000 m la Praid). Întreaga bordură a Depresiunii Transilvaniei este caracterizată de prezența acestor structuri cutate de sare (Ocna Dej, Turda, Ocna Sibiu, Sovata, Praid).

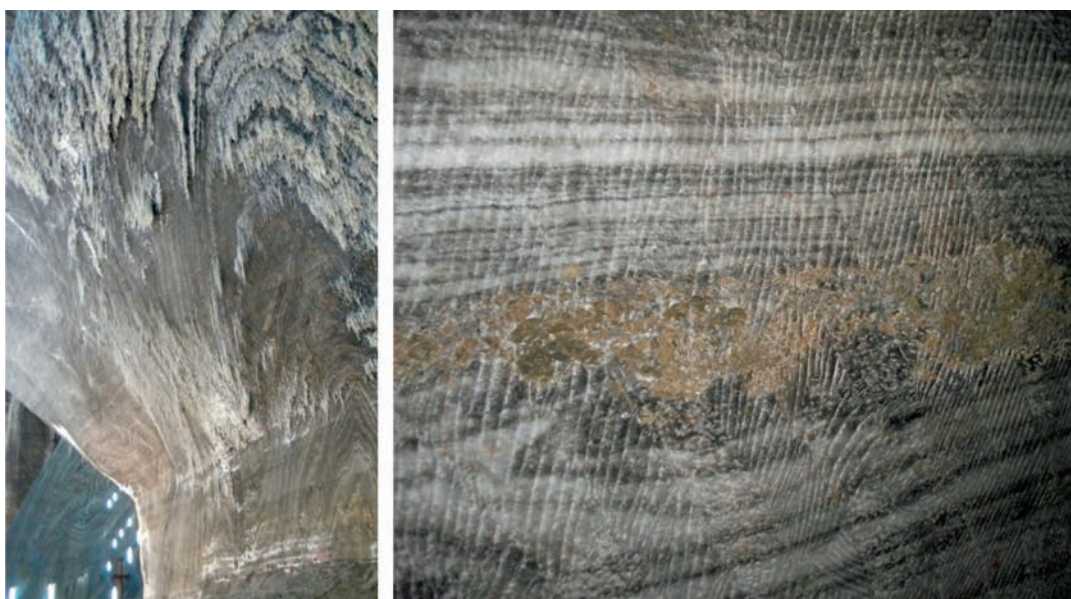


Structură geologică cutată (anticlinal și sinclinal) (Sursa: http://geography.unt.edu/~williams/geog_3350/examreviews/diastrophism1.htm)

Cutele sunt larg răspândite, de asemenea, în zonele de munte, unde prezența lor demonstrează implicarea forțelor tectonice compresionale în formarea catenelor muntoase (procesele orogene) (fig. IV.8).

IV

fig.
IV.7



Cute într-o rocă cu proprietăți plastice (sarea) – Salina Turda

fig.
IV.8



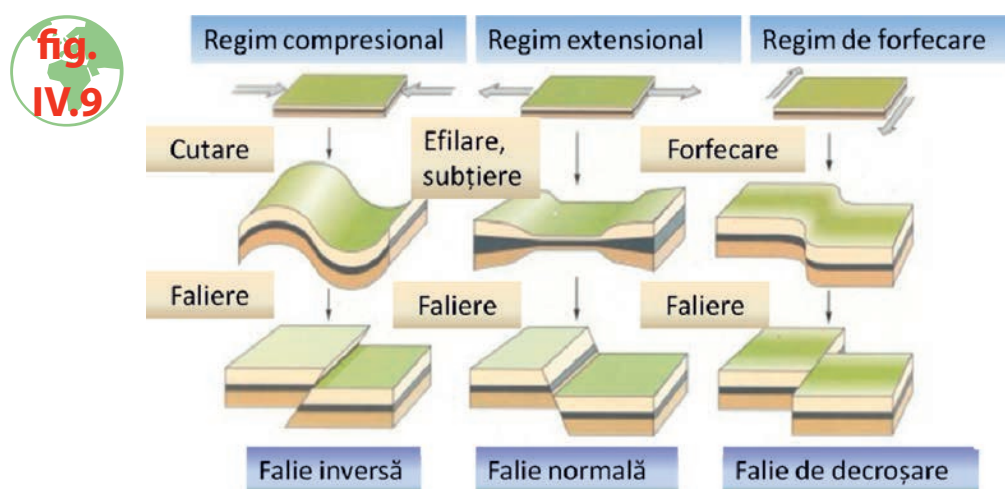
Strate cutate într-o zonă supusă proceselor orogene (Cazanele Dunării)

Falierea reprezintă un alt mod de răspuns al stratelor de roci la stress.

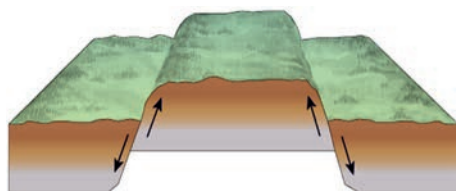
Faliile sunt rupturi adânci în scoarța terestră care sunt însoțite de o deplasare vizibilă a compartimentelor de roci situate de o parte și de alta a unui plan, numit **plan de falie**. Planul de falie poate fi vertical, situat la un unghi de 90° față de planul orizontal, caz în care vorbim de *falii drepte*. Dacă unghiul format cu planul orizontal este diferit de 90° , vorbim de *falii înclinate (oblice)*. Dintre acestea, în regim extensional iau naștere *faliile normale* iar în regim compresional, *faliile inverse* (fig. IV.9). Atunci când planul faliei are o înclinare mare față de poziția verticală (face un unghi mic cu orizontala), tot în regim compresional iau naștere *faliile de încălecare*. Mișcarea pe planul de falie se poate face și în plan orizontal. În acest caz, compartimentele se deplasează unul față de altul pe orizontală, iar faliile se numesc *de decroșare* (fig. IV.9).

În interiorul Pământului faliile se găsesc asociate în horst-uri. **Horstul** reprezintă un compartiment mai ridicat al scoarței terestre delimitat prin falii în trepte de compartimentele mai coborâte din jur (fig. IV.10).

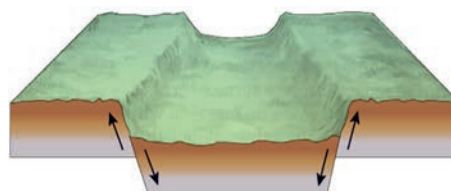
Structura inversă este **grabenul** (fig. IV.11). În acest caz, compartimentul central este scufundat în raport cu cele marginale.



Modul de comportare al stratelor supuse diferitelor condiții de stress finalizat cu apariția faliilor inverse, normale și de decroșare



Horst



Graben

http://www.csun.edu/~psk17793/ES9CP/ES9%20types_of_mountains.htm

Apariția și comportamentul faliilor sunt controlate de mișcarea relativă a maselor de rocă, de ambele părți ale planului faliei. Din cauza frecării mari și a rigidității rocilor, acestea nu pot aluneca continuu, ci există întreruperi care cauzează acumularea unor cantități mari de energie în roci. Când energia acumulată atinge un nivel ce depășește nivelul suportat de rocă, ea este eliberată. Descărcările astfel produse, datorită alunecărilor rapide de-a lungul faliilor, generează cutremurele.

Așadar, seismele reprezintă forțe tectonice care sunt declanșate de mișcări tectonice dar care, la rândul lor, pot cauza formarea unor alte dislocații în crusta terestră. Acest mecanism de desfășurare duce, în timp, la modelări ale interiorului și exteriorului planetei noastre.

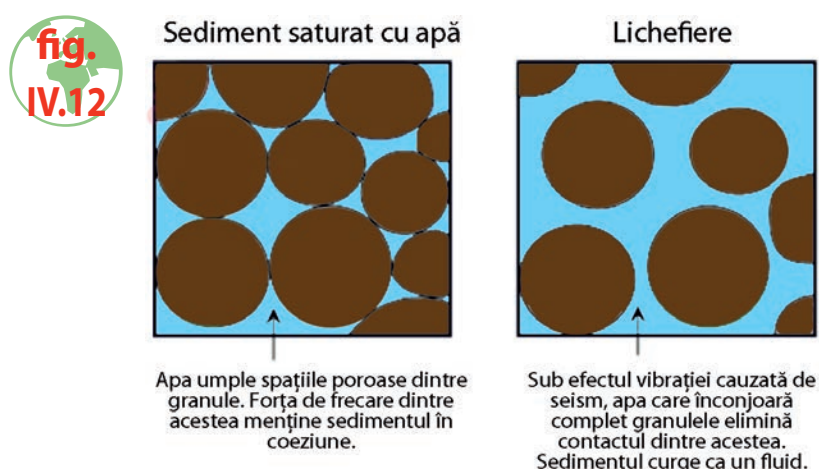
FENOMENE DE INSTABILITATE: LICHEFIEREA ȘI ALUNECAREA DE TEREN

Lichefierea

Este procesul care apare în sedimente neconsolidate sau în sol, saturate cu apă, sub incidența vibrației cauzate de cutremur. În zone acoperite cu astfel de sedimente, vibrația pământului induce presiuni în interiorul apei din porii sedimentelor, cauzând pierderea

IV

contactului dintre granulele constituente. Prin urmare, acele sedimente sau strate de sol își pierd proprietățile de corp solid și apare tendința de curgere, asemeni nisipurilor mișcătoare semilichide (fig. IV. 12). În urma acestui proces, terenurile își pierd portanța, iar construcțiile aflate pe aceste terenuri tind să basculeze sau să coboare în stratul de fundare pentru a-și restabili echilibrul. Tot datorită acestui proces, mai pot să apară alunecări de teren sau alte mișcări gravitaționale, uneori dezastruoase. Probabilitatea producerii lichefierii este cu atât mai mare cu cât seismul are o durată mai mare.



Modalitatea de apariție a fenomenului de lichefiere

În urma lichefierii, apa eliberată din spațiile intergranulare datorită „reorganizării” acestor granule sub incidența vibrației seismice poate ajunge la suprafață dacă întâlnește căi de ascensiune (fisuri, fracturi etc.). Împreună cu particulele de nisip fin și argilă pe care le antrenează, va forma la suprafață structuri morfologice asemănătoare unor vulcani noroioși în miniatură, printr-un mecanism asemănător unei erupții vulcanice (fig. IV.13).

Un aspect pozitiv legat de lichefiere este acela că, datorită proprietăților lui, solul lichefiat reduce oscilațiile undelor seismice S care urmează să mai ajungă la acea suprafață. Acest lucru se datorează faptului că lichidele nu transmit stressul de forfecare, ceea ce face ca energia transportată de undele seismice S să nu mai fie transferată clădirilor și suprafeței terenului.

Lichefierea și fenomenele asociate acesteia pot să nu apară în timpul cutremurelor, ci la 10-20 de minute după mișcarea seismică. Acest lucru se petrece datorită faptului că formarea presiunii care produce lichefierea în subsol este un proces anevoios, iar nisipul mișcător este un fluid greu și vâcos care se deplasează destul de încet. Mai mult decât atât, starea de nisip mișcător poate persista după seism timp de mai multe ore sau chiar zile.

Merită să atragem atenția asupra unui aspect: *cât de puternic trebuie să fie seismul și cât de aproape pentru a se crea condițiile de debut ale fenomenului de lichefiere a solului?*

Unele surse afirmă că lichefierea nu se produce în cazul seismelor cu o magnitudine mai mică de 5,2 pe scara Richter. Cu toate acestea, există depozite cu trăsături care creează o predispoziție pentru acest tip de fenomen. Nisipurile afânate, saturate cu apa subterană aflată la mică adâncime, pot fi supuse lichefierii, chiar și la seisme mai mici de 5,2 grade Richter.

Fenomenul de lichefiere poate apărea la distanțe diferite de epicentru. De exemplu, în cazul seismului de 5,2 grade Richter, produs în S.U.A. în luna iunie 1987, fenomenul de lichefiere a apărut la 240 km distanță de epicentru. Explicația este aceea că, în apropierea epicentrului, mișcarea stratului superficial are o amplitudine mai mare, însă la distanțe mai mari, durata zguduirilor este mai mare, ceea ce se explică prin faptul că ajung în acel areal cu viteze diferite.

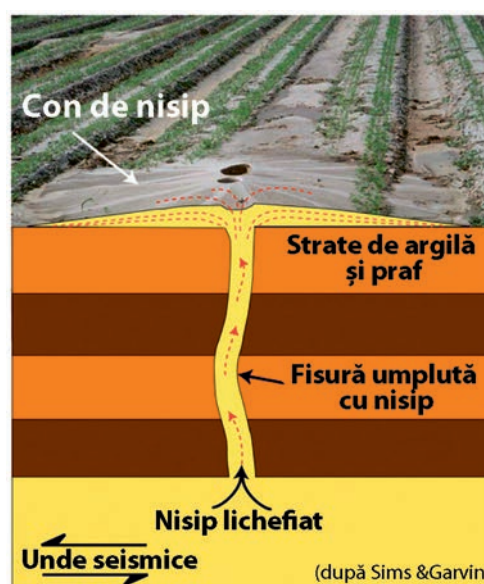
Pe lângă seisme, fenomenul de lichefiere mai poate fi declanșat și de alte surse. Vibrațiile provocate de trenuri, metroui, tractoare, autoturisme de mare tonaj și orice alte surse mecanice generatoare de vibrații în sol pot stimula apariția lichefacției.

Creșterea nivelului apei subterane, apărută pe fondul produ-

cerii unor inundații, reprezintă un alt aspect care poate genera lichefiere. Așadar, lichefierea poate fi stimulată seismic, mecanic și hidrologic.

De multe ori, extinderea unor orașe impune folosirea unor terenuri de albie aluvionară, caracterizate de o pronunțată porozitate. În cazul unor aporturi importante de apă, acestea devin saturate, iar riscul unei lichefieri sub incidența unei vibrații seismice devine major. Un exemplu concludent în acest sens îl constituie orașul Niigata, din Japonia, care este situat, în mare măsură, pe un astfel de teren aluvionar. În urma cutremurului din 1964, orașul a suferit importante daune asupra a mii de clădiri care au fost distruse (cca 3.000) sau degradate (cca 10.000). Deși seismul nu a fost foarte puternic, lichefierea s-a produs pe mari suprafețe, ducând la înclinarea și chiar la răsturnarea multor clădiri (fig. IV.14). Este considerat primul eveniment din lume în care toate tipurile de infrastructură modernă au fost distruse de lichefierea terenului.

fig.
IV.13



Curgeri de nisip și mini-crater formate în urma lichefierii (Sursa: http://www.iris.edu/hq/files/programs/education_and_outreach/aotm/20/SandBlow_ES_NESTA.pdf)

Fig.
IV.14



Daune provocate de lichefierea terenului în urma cutremurului din 1964, produs la Niigata, Japonia

IV

Alunecarea de teren

Deși seismele se produc în interiorul scoarței terestre, efectele lor distructive apar în stratele aflate în apropierea suprafeței Pământului sau chiar la suprafață și se manifestă asupra mediului natural și a celui antropic (construit de om). În ariile unde alunecările de teren sunt fenomene comune datorită factorilor naturali și antropogeni, cutremurele cresc semnificativ probabilitatea de producere a lor.

Alunecarea de teren reprezintă mișcarea de alunecare pe pante a unui volum de roci sau sol ce se desfășoară la suprafața pământului. Aceasta se datorează în bună măsură atracției gravitaționale dar este ajutată și de înmuierea substratului datorită apei de scurgere de pe versanți. În general transportul materialului se face pe distanță scurtă iar depunerea lui este imediată, chiar pe pantă sau la piciorul pantei.

Rolul gravitației și a unghiului pantei sunt hotărâtoare în cazul acestor manifestări. Forța gravitațională acționează prin menținerea obiectelor în echilibru și ea are două componente (fig. IV.15):

- *componenta tangențială* (gt) – care acționează în josul pantei și imprimă obiectelor o mișcare spre baza pantei;
- *componenta normală* (gp) – care este perpendiculară pe suprafață.

Apa menține sedimentul într-o stare coezivă (masă coezivă) până la un anumit punct, datorită forțelor capilare. Însă, atunci când sedimentele precum nisipul, siltul sau argila devin saturate cu apă, presiunea exercitată de apă crește și preia din greutatea masei de roci acoperitoare, micșorând astfel forța de frecare ce se opune componentei tangențiale a forței gravitaționale (g), care acționează în josul pantei. Ca urmare, sedimentele își pierd rezistența, implicit stabilitatea, și încep să alunece (o situație analoagă este *acvaplănarea*, în care un vehicul condus pe un carosabil foarte umed își pierde controlul).

Fig.
IV.15

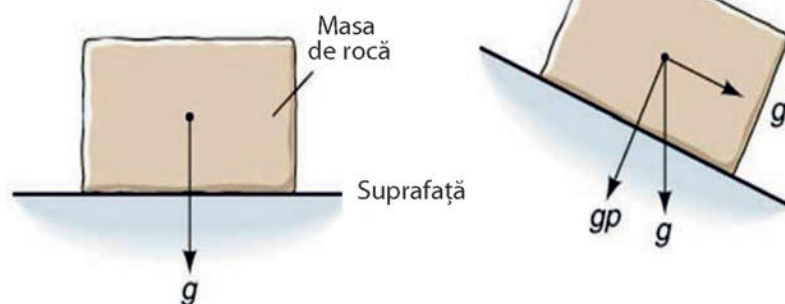
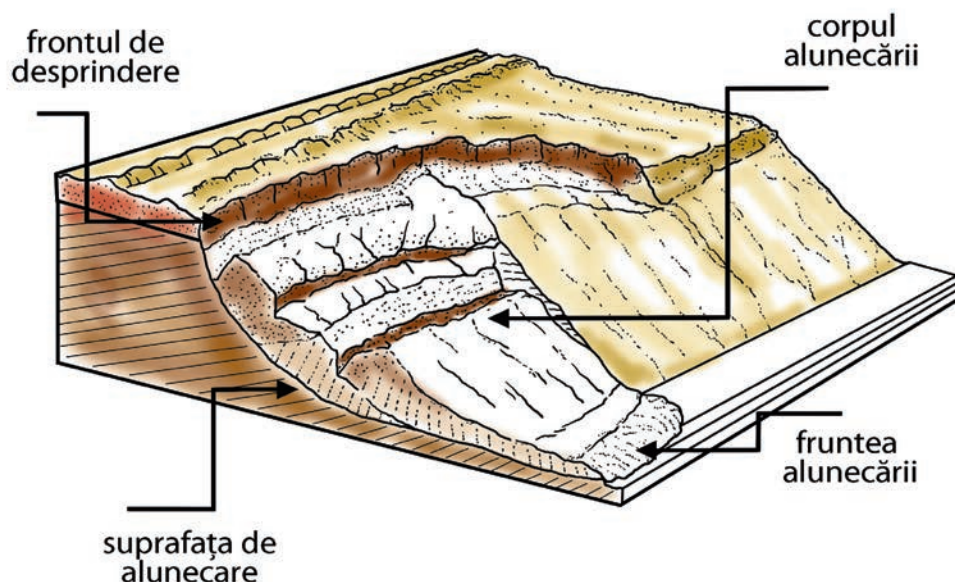


Fig. IV.15. Componentele forței gravitaționale

În cele mai multe condiții, o pantă evoluează înspre un unghi care permite masei de sedimente (aflată în orice punct din partea superioară a pantei) să fie echilibrată de masa care se mișcă în josul pantei. Aceasta este *condiția de echilibru*.

Alunecările de teren prezintă mai multe elemente. Dintre acestea, menționăm: *frontul de desprindere* (de obicei se prezintă sub forma unui abrupt); *corpul alunecării* (care cuprinde materialele desprinse și deplasate); *fruntea alunecării* (reprezintă partea terminală a alunecării); *talpa sau suprafața de alunecare* (planul pe care a avut loc alunecarea) (fig. IV.16).

Fig.
IV.16

Elementele unei alunecări de teren

Atât mărimea cât și forma unei alunecări de teren depind de următorii factori: adâncimea la care se află stratul înmuiat, tipul materialului de deasupra lui, modul de înclinare a stratelor, înclinarea versantului.

Spațiile geografice specifice în care apar alunecări de teren sunt zonele cu relief de altitudine medie alcătuit din dealuri și din podișuri. Dacă asociat versantului există și contextul litologic adecvat (prezența la o anumită adâncime a unui strat impermeabil, de obicei argila) și apa cu rolul mai-sus menționat, atunci sunt întrunite toate condițiile pentru declanșarea alunecărilor de teren.

Dacă în acest cadru se interpune și vibrația cauzată de seism, este accentuată probabilitatea pierderii echilibrului masei aflate pe versant.

În Câmpia Transilvaniei, sunt frecvente alunecările masive de teren manifestate în decursul ultimilor 8.000 de ani. Acestea au imprimat un aspect aparte reliefului zonei (fig. IV.17). Alunecările cele mai masive sunt însă cele de la Saeș și Saschiz, din Podișul Târnavelor.

fig.
IV.17

Alunecare masivă de teren în Câmpia Transilvaniei, la Milășel (jud. Mureș) (Foto: Cristian Maloș)

Șocul provocat de cutremure, alături de alte procese, precum defrișarea versantului, eroziunea cauzată de unele cursuri de apă, de apa subterană, de îngheț sau de alterarea rocilor, reprezintă cauze declanșatoare a alunecărilor.

IV

Celelalte două tipuri de cauze sunt cele *potențiale*, reprezentate de roci și relief, și cele *pregătitoare*, reprezentate de precipitații.



De-a lungul istoriei se cunosc numeroase seisme care au provocat alunecări de teren de mare amploare. În anul 1995, orașul La Conchita din California a fost sediul unui astfel de eveniment de mare amploare produs în urma unui seism (fig. IV.18).

Tsunami

Cutremurele declanșate sub adâncurile oceanice pot produce ridicarea sau coborârea unor blocuri de crustă oceanică. Această mișcare generează un tip aparte de undă oceanică, numită **tsunami** sau val seismic marin.

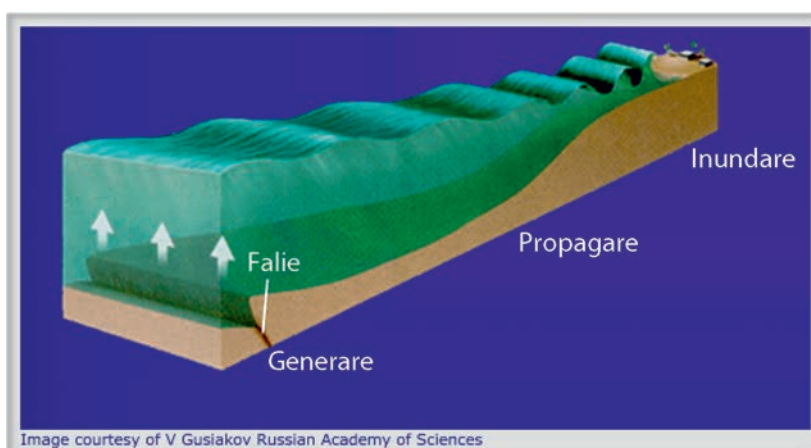
Tsunami reprezintă deci un val (undă) generat de seisme suboceanice care traversează oceanele, propagându-se foarte rapid spre țărm, inundarea acestuia putând provoca distrugerii însemnate așezărilor umane (fig. IV.19). Viteza lui de propagare în largul oceanului poate să depășească 800 km/h, însă înălțimea valului este foarte mică, aproape imperceptibilă. Odată cu apropierea de țărm și atingerea suprafeței de fund a acestuia, înălțimea valului crește considerabil, ajungând până la zeci de metri. Impactul asupra litoralului și a construcțiilor aflate în apropiere este devastator. Ariile joase de țărm inundate pot provoca pierderi imense de vieți omenești.

Pentru ca un cutremur să genereze un tsunami, acesta trebuie să fie asociat unei falii normale sau inverse, deci mișcarea să fie în plan vertical. Faliile de decroșare nu produc în general astfel de fenomene.

Oceanul Pacific este deseori scena unor evenimente de acest tip. Prin urmare, și aici există preocupare din partea oamenilor de știință în a prevedea producerea acestor valuri uriașe, fapt deosebit de important pentru diminuarea consecințelor. În prezent, 26 de națiuni din jurul Pacificului cooperează pentru supravegherea în permanență



Alunecare provocată de un seism, La Conchita, 1995 (sursa: <http://earthquake.usgs.gov>)



Evoluția unui val seismic

(Sursa: <http://mail.colonial.net/~hkaiter/tsunami.html>)

a adâncurilor oceanice. Există dispozitive speciale care fac posibilă transmiterea prin intermediul sateliților a unui semnal de avertizare către centrele regionale de avertizare din jurul oceanului. Prin urmare, este posibilă luarea unor măsuri de evacuare a zonelor învecinate țărmului. Această evacuare este posibilă, deoarece timpul scurs de la producerea seismului și până la ajungerea valului la țărm poate fi de câteva ore (în funcție de distanța epicentrală). De exemplu, un seism suboceanic produs în zona Republicii Chile produce un val care va atinge insulele Hawaii doar în 10 ore sau țărmurile japoneze în 22 de ore. Pe lângă acest sistem de avertizare, mai există și alte măsuri, cum ar fi cele de utilizare a terenurilor joase de țărm (interzicerea amplasării construcțiilor), care pot reduce consecințele devastatoare ale acestor valuri.

Puterea distructivă a valurilor seismice vine de la imensa energie transferată apei de către mișcarea produsă pe anumite falii suboceanice. Pentru a transforma în lucru mecanic această energie, trebuie să ne imaginăm care este forța necesară ridicării unui volum mediu de apă oceanică la înălțimea de un metru. Valoarea medie a adâncimii oceanice este de 3,8 km. Valoarea medie a suprafeței fundului oceanic deplasată în sus sau în jos de un astfel de eveniment, în conformitate cu studiile asupra undelor seismice, este de 20.000 km² (suprafața de 200 km x 100 km). Volumul apei ridicate ar fi de 76.000 km³. Luând în calcul densitatea apei de mare, de 1,03 kg/m³, masa acestei apei ar fi de aproximativ 78 miliarde tone. Ridicarea acestei mase de apă la un metru înălțime ar lua circa $7,6 \times 10^{14}$ Jouli, energia a 183 kilotone de TNT.

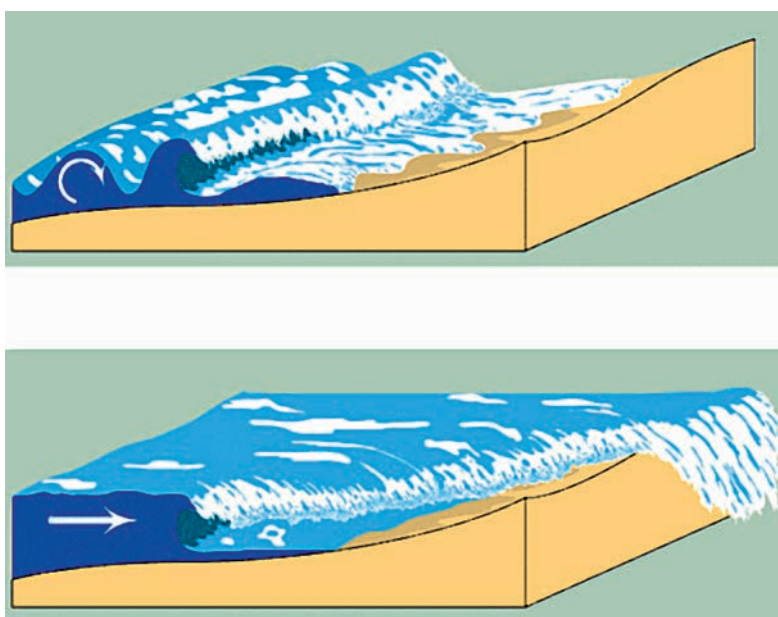
Această energie radiază în jurul epicentrului nu doar ca o singură undă largă, ci sub forma unui tren de unde joase. Fiecare dintre aceste unde are o amplitudine medie de 1 m, lungimea de undă de peste 100 km și perioada de 7-15 minute (pentru tsunamiurile cu perioadă scurtă) sau de 40 de minute (pentru tsunamiurile de perioadă lungă). Înainte de lovirea continentului, aceste unde traversează oceanul cu viteze de 550-800 km/h.

Din punctul de vedere al caracteristicilor, trebuie să spunem că valurile seismice oceanice sunt foarte diferite de valurile generate de vânt. În cadrul unui val de vânt, mișcarea apei este circulară, pe când în cazul unui val seismic aceasta este lineară (fig. IV.20).

Valurile de vânt normale au rareori o lungime de undă mai mare de 300 m și, în general, traversează suprafețele cu o viteză de sub 100 km/h. Un tsunami de dimensiune medie poate avea lungimea de undă medie de 250 km și viteza de 550-800 km/h.

În momentul impactului asupra uscatului continental, creasta valului poate ajunge

fig.
IV.20

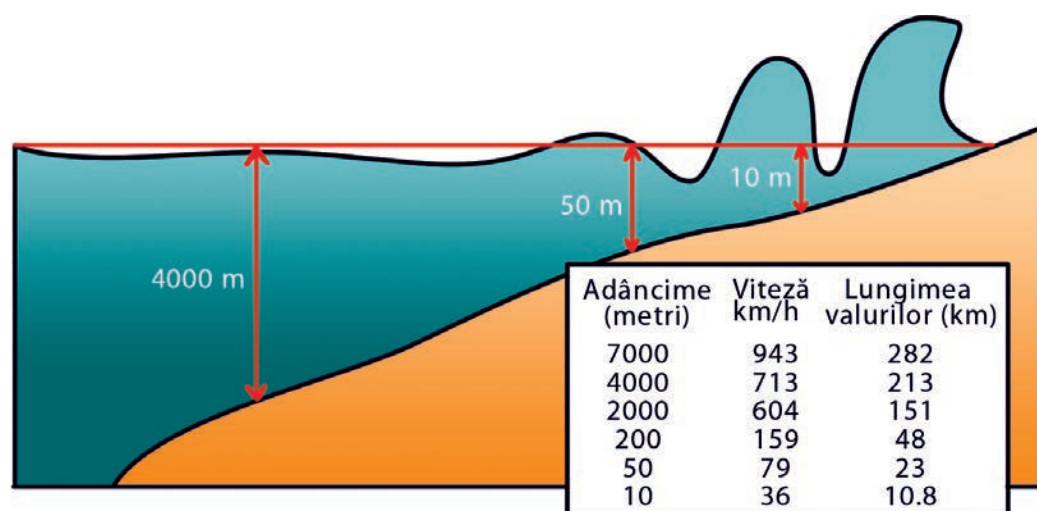


Diferența dintre un val provocat de vânt și un val seismic (
Sursa: <http://mail.colonial.net/~hkaiter/tsunami.html>)

IV

până la 32 m. Mecanismul de formare a acestor creste este similar cu cel de formare a valurilor cauzate de vânt: frecarea cu fundul oceanic încetinește viteza de deplasare și crește amplitudinea valului. Deci, adâncimea oceanului controlează viteza de propagare astfel: la modificări de adâncime, viteza undelor se modifică și ea (fig. IV.21).

fig.
IV.21



Variația vitezei și a lungimii de undă în funcție de adâncimea la care se produce seismul
(Sursa: <http://mail.colonial.net/~hkaiter/tsunami.html>)

Nu toate valurile marine distructive sunt cauzate de cutremure. Unele pot fi generate de alunecări masive de teren sau de erupții vulcanice, altele se pot datora chiar unor evenimente, precum exploziile nucleare submarine sau căderea unor asteroizi.

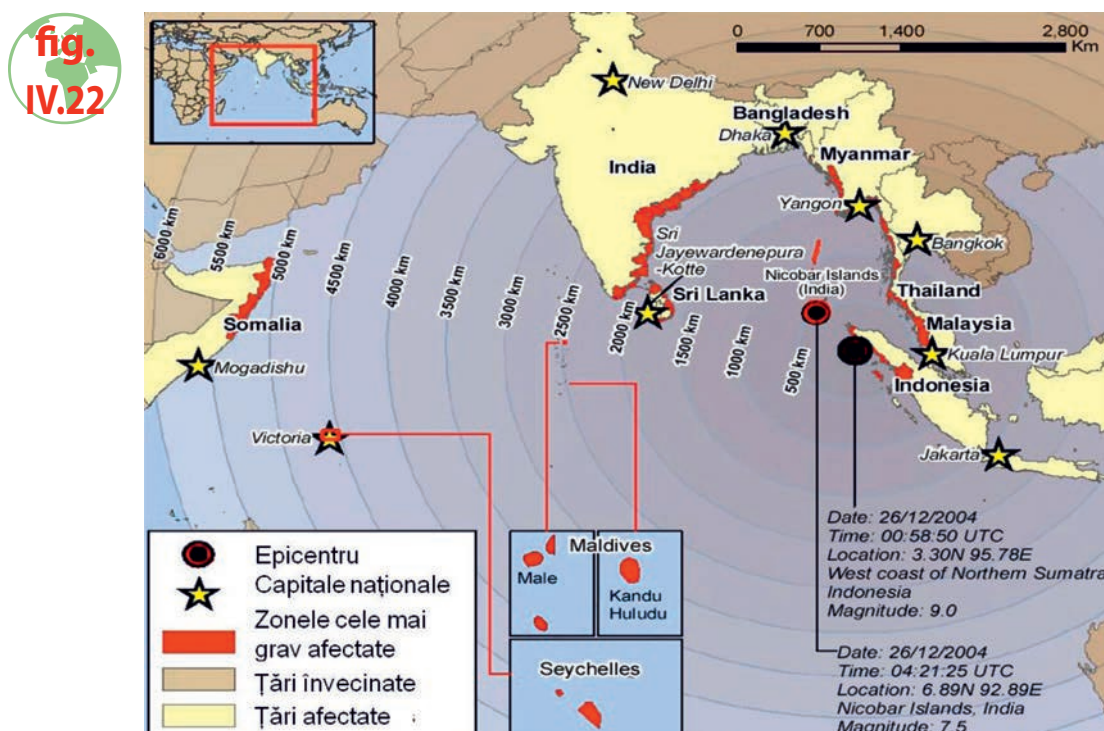
Tsunamiurile produse în timp reprezintă oportunități de studiu și îmbunătățire a măsurilor menite a diminua consecințele. Iată câteva exemple care, prin dimensiunea distrugerilor cauzate, pot constitui elemente valoroase de conștientizare asupra potențialului distructiv al acestor valuri seismice.

În 1883, vulcanul Insulelor Krakatoa a erupt, aruncând în aer 2/3 din insulă. Acest eveniment a cauzat un val seismic gigantic care a ucis 36.000 persoane în insulele Java și Sumatra.

La 15 iunie 1896, regiunea Honshu din Japonia a fost devastată de un tsunami cu o înălțime vizuală a valului de 20 m, care a provocat moartea a circa 26.000 de oameni.

Cutremurul din Oceanul Indian din 26 decembrie 2004 (cu $M = 9$) a generat un val seismic care a afectat regiunile de țărm ale unui număr de opt țări asiatice și a cauzat moartea a peste 120.000 de persoane. Valul a ajuns chiar și în locuri mai îndepărtate, precum Somalia, care se află la 4.100 km est de epicentru (fig. IV.22). Acesta a fost al cincilea cutremur ca mărime din istoria modernă (de când sunt efectuate înregistrări cu ajutorul seismografelor) care a generat pagube imense (fig. IV.23).

Un important eveniment a fost și cel produs în 11 martie 2011, în Japonia (fig. IV.24). Tsunamiul format a luat prin surprindere până și Japonia, țară extrem de bine pregătită pentru a face față unor evenimente cu potențial distructiv foarte mare.



Țări afectate de tsunamiul din 26 decembrie 2004 (sursa: <http://mail.colonial.net/~hkaiter/tsunami.html>)

Tot datorită vibrațiilor cauzate de seisme se poate produce și fenomenul „seiche” care reprezintă revărsarea apei peste marginile bazinului sau peste malurile unui lac, în urma mișcării produse de un cutremur de pământ.

Este dificil să facem previziuni ale manifestării unor fenomenelor naturale cu potențial, chiar și în ariile continentale accesibile nouă. Cu atât mai puțin este posibil acest lucru în ariile submarine sau suboceanice, unde accesul nostru este limitat. Dacă luăm în considerare și faptul că aceleași forțe tectonice care generează pe continent evenimentele geologice își manifestă interacțiunea și sub suprafețele de apă ale globului, iar aceste suprafețe acoperă circa 70% din întregul glob terestru, putem să admitem cu ușurință că lupta împotriva lor și a efectelor lor este foarte dificilă.

fig. IV.23



26 decembrie 2004, Indonezia (sursa: <http://www.tsunamispecialenvoy.org/2004-tsunami.html>)

fig. IV.24



11 martie 2011 Japonia (sursa: <http://www.allvoices.com/contributed-news/8445028/image/74979871-japan-tsunami-2011-exclusive-photos>)