

# **CERCETĂRI PRIVIND UNELE PARTICULARITĂȚI ALE PROIECTĂRII GEOTEHNICE ÎN CONDIȚIILE SEISMICE DIN ZONA BANAT – TIMIȘOARA**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
În domeniul INGINERIE CIVILĂ  
de către

**Octavian Chiriac Roman**

Conducător Științific: prof.univ.dr.ing Marin Marin  
Referenți Științifici: prof.univ.dr.ing Păulică Răileanu  
conf.univ.dr.ing. Maria Ștefănică  
prof.dr.ing. Virgil Haida

Ziua susținerii tezei: 18.09.2009

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea "Politehnica" din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14/ 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica - Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor lor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității "Politehnica" din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9, tel.  
0256403823, fax. 0256403221 e-mail:  
editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Căi de Comunicare Terestre, Fundații și Cadastru al Facultății de Construcții din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara.

Doresc să exprim mulțumirile mele conducătorului științific, Prof.dr.ing. Marin Marin, pentru sprijinul acordat, pentru exigența și atenția specială pe care a acordat-o tezei de doctorat, precum și pentru recomandările pentru urmarea cercetărilor în viitor.

Mulțumesc d-nei Conf.dr.ing. Maria Ștefănică, d-lui Prof.dr.ing. Virgil Haida și d-lui Prof.dr.ing. Păulică Răileanu, membri ai comisiei științifice, care au recenzat teza, au recomandat-o pentru susținerea publică, și au acceptat să fie alături de mine la susținerea publică.

Aș dori să mulțumesc soției mele, pentru suportul moral și sufletesc pe tot parcursul elaborării tezei de doctorat și pentru bucuria familiei noastre, pe care o așteptăm din toată inima, părinților și fratelui meu pentru sprijinul și încrederea acordată.

Timișoara, septembrie 2009

Octavian Chiriac ROMAN

Roman, Octavian

**Titlul tezei CERCETĂRI PRIVIND UNELE PARTICULARITĂȚI ALE PROIECTĂRII GEOTEHNICE ÎN CONDIȚIILE SEISMICE DIN ZONA BANAT – TIMIȘOARA**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 46, Editura Politehnica, 2009, 219 pagini, 120 figuri, 44 tabele.

ISSN:1842-581X

ISSBN:978-973-625-932-6

Cuvinte cheie: proiectare antiseismică, cutremure de pământ, efectele cutremurelor, influența terenului de fundare, interacțiune teren de fundare – structură, hazard seismic, condiții locale de amplasament, comportarea construcțiilor

Rezumat, Teza de doctorat cuprinde 7 capitole și o anexă. Se prezintă un studiu asupra cutremurelor de pământ, originea și cauzele cutremurelor, precum și comportarea terenului de fundare la cutremure. Este analizat hazardul seismic al zonei Banat – Timișoara, se prezintă analizarea și definirea mișcării seismice în Timișoara. Lucrarea tratează și comportarea diferitelor tipuri de structuri la acțiunea seismică. Se enumeră diferite soluții de fundare pentru construcții amplasate în zone seismice. Sunt redată forme de undă prelucrate și spectre caracteristice pentru zona Banat – Timișoara, împreună cu considerații privind reprezentarea acțiunii seismice.

# CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	3
CUPRINS.....	5
1. INTRODUCERE. OBIECTUL TEZEI DE DOCTORAT .....	8
1.1. Introducere.....	8
1.2. Obiectul tezei de doctorat.....	11
2. CUTREMURE DE PĂMÂNT.....	13
2.1. Principii de bază ale cutremurelor.....	13
2.1.1. Originea și cauzele cutremurelor.....	13
2.1.2. Cutremurele tectonice.....	14
2.1.3. Tipurile de falii.....	21
2.1.4. Magnitudinea și intensitatea cutremurelor.....	24
2.1.5. Propagarea undelor seismice.....	29
2.1.6. Înregistrarea mișcării seismice.....	30
2.2. Efectele cutremurelor.....	32
2.3. Cutremurele la nivel mondial.....	39
2.4. Cutremurele din România.....	43
2.4.1. Considerații generale pentru zona Banat – Timișoara.....	49
3. COMPORTAREA TERENULUI DE FUNDARE LA CUTREMURE.....	58
3.1. Considerații generale	58
3.2. Influența terenului asupra mișcării seismice.....	59
3.3. Interacțiunea dintre terenul de fundare și structură.....	67
3.4. Modulul de forfecare.....	71
3.5. Perioada fundamentală.....	72
3.6. Comportarea pământurilor necoezive.....	74
4. ASPECTE PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT – TIMIȘOARA	77
4.1. Introducere.....	77
4.2. Seismicitatea regiunii Banat.....	79
4.2.1. Istoria mișcărilor seismice.....	83
4.2.2. Reprezentarea acțiunii seismice pentru proiectare.....	87
4.2.3. Caracteristicile seismelor bănățene.....	89
4.2.4. Recurența seismelor bănățene.....	90
4.2.5. Magnitudinea seismelor de calcul.....	91
4.2.6. Legea de atenuare pentru surse seismice de suprafață.....	94

4.2.7. Zonarea probabilistică a hazardului seismic.....	97
4.2.8. Spectre de proiectare.....	101
4.3. Condiții locale de amplasament.....	106
4.3.1. Condiții geotehnice.....	106
4.3.2. Elemente care caracterizează comportarea terenului de fundare la solicitări dinamice.....	108
4.3.3. Instrumentarea seismică a zonei Banat – Timișoara. Foraje geotehnice. Rezultate.....	110
4.4. Concluzii.....	127
5. CONSIDERAȚII PRIVIND COMPORTAREA CONSTRUCȚIILOR LA CUTREMURE	132
5.1. Considerații generale.....	132
5.2. Comportarea clădirilor din zidărie.....	133
5.2.1. Comportarea clădirilor din zidărie nearmată.....	133
5.2.2. Comportarea clădirilor din zidărie armată.....	133
5.3. Comportarea clădirilor din beton armat.....	134
5.4. Comportarea clădirilor din lemn.....	136
5.5. Comportarea clădirilor din oțel.....	136
5.6. Conceptele structurale ale clădirilor din zidărie rezistente la cutremure.....	139
5.6.1. Configurația clădirii.....	140
5.6.2. Dimensiuni.....	141
5.6.3. Sistemul structural.....	142
5.6.4. Goluri de uși și ferestre.....	143
5.6.5. Elemente nestructurale.....	143
5.6.5.1. Pereți nestructurali.....	144
5.6.5.2. Buiandrugii.....	145
5.6.5.3. Balcoane.....	145
5.6.5.4. Coșurile de fum individuale și canale de ventilație.....	146
5.6.6. Planșee.....	146
5.6.7. Grinzile de centură.....	148
5.6.8. Acoperișuri – Învelitori.....	149
5.7. Clădirile din zidărie pe durata acțiunii seismice.....	149
5.7.1. Avarierea clădirilor din zidărie.....	150
5.7.2. Clase de vulnerabilitate ale clădirilor din zidărie.....	153
5.7.3. Clasificarea avariilor la clădirile din zidărie.....	154
5.7.4. Scara europeană a intensității seismice pentru clădirile din zidărie.....	155
5.7.5. Comportarea seismică a unui perete în ipoteza elasto – plastică.....	158
5.7.6. Sistemul cutie.....	159
5.7.7. Evoluția metodelor de calcul.....	160

5.7.8. Ipoteze simplificatoare.....	160
5.7.9. Modelul structural.....	161
5.7.9.1. Alcătuirea modelului dinamic.....	161
5.7.9.2. Rigiditatea de nivel.....	161
5.7.9.3. Modulul fundamental de oscilație.....	162
5.7.9.4. Aproximarea modului fundamental.....	162
5.7.10. Inputul seismic de proiectare.....	163
5.7.11. Verificarea rezistenței seismice globale a unei clădiri din zidărie.....	164
5.7.12. Metode de calcul ale clădirilor din zidărie.....	166
6. SOLUȚII DE FUNDARE PENTRU CONSTRUCȚII AMPLASATE ÎN ZONE SEISMICE.....	168
6.1. Variante de fundații pentru a diminua(tempera) efectele cutremurelor.....	168
6.2. Fundațiile directe.....	169
6.3. Fundații adânci.....	173
6.3.1.Suportul piloți și grinzi de solidarizare.....	177
6.4. Fundația antiseismică pentru stâlpi.....	178
6.5.Clasificări ale infrastructurilor și a sistemelor de fundare sub aspectul comportării la acțiuni seismice.....	180
6.5.1.Tipuri de infrastructuri.....	180
6.5.2.Indicații privind modul de calcul al elementelor infrastructurii.....	184
7. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII ADUSE DE AUTOR.....	185
BIBLIOGRAFIE.....	188
ANEXĂ.....	192

# 1. INTRODUCERE. OBIECTUL TEZEI DE DOCTORAT

## 1.1. Introducere

Un cutremur produce întotdeauna teamă, urmată de o neliniște profundă în ceea ce privește posibilitatea repetării lui, acestea se produc într-un timp foarte scurt și au consecințe devastatoare. Predicția cutremurelor rămâne, cu toate eforturile seismologilor, doar un deziderat. Reușitele în domeniu (dacă nu au fost rezultatul purei întâmplări) au fost depășite cu mult de predicțiile nereușite.

Tendența la nivel mondial este aceea de creștere a nivelului de siguranță al construcțiilor noi, speciale ca regim de înălțime, conformație arhitecturală, dimensiuni urbane, importanță pentru proprietar sau pentru societate, această creștere efectuându-se în principal prin luarea în considerare a unui nivel superior, al actualului nivel de hazard al acțiunii seismice de proiectare.

Înțelegerea acestui fenomen complex este necesară, deoarece efectele cutremurelor de pământ majore asupra vieților omenești și a construcțiilor de diferite tipuri sunt devastatoare. În această direcție se orientează activitatea științifică și practică a ingineriei seismice, susținută de dezvoltarea continuă a normelor de proiectare antiseismică, care au rolul de a reduce aceste efecte.

Cu toate că media persoanelor decedate anual din cauza cutremurelor majore de pământ, după cum se poate observa și din figura 1.1., reprezintă o valoare mare, standardele moderne de proiectare antiseismică sunt mult mai eficiente și evaluate în prezent, dar pierderile economice cauzate de cutremurele de pământ sunt în creștere la nivel mondial, în mare parte datorită dezvoltării continue a mediului urban și rural, un exemplu actual ar fi cutremurul din China, provincia Sichuan, din data de 12 mai 2008, având magnitudinea moment  $M_w = 7,9$ , pierderi estimate la 75 de bilioane de dolari, fiind cel mai costisitor dezastru natural din istoria Chinei.

Alt exemplu, ar fi tsunami-ul din estul oceanului indian din anul 2004 generat de un cutremur, care a avut epicentrul în mare, aproape de coasta nordică a insulei indoneziene Sumatra, având magnitudinea de 9,0 grade pe scara Richter, a subliniat din nou, vulnerabilitatea populației la impactul dezastrelor naturale. În acest caz mai multe țări au avut de suferit de pe urma deceselor a conaționaliilor lor, în jur de 280.000 de victime omenești în total.



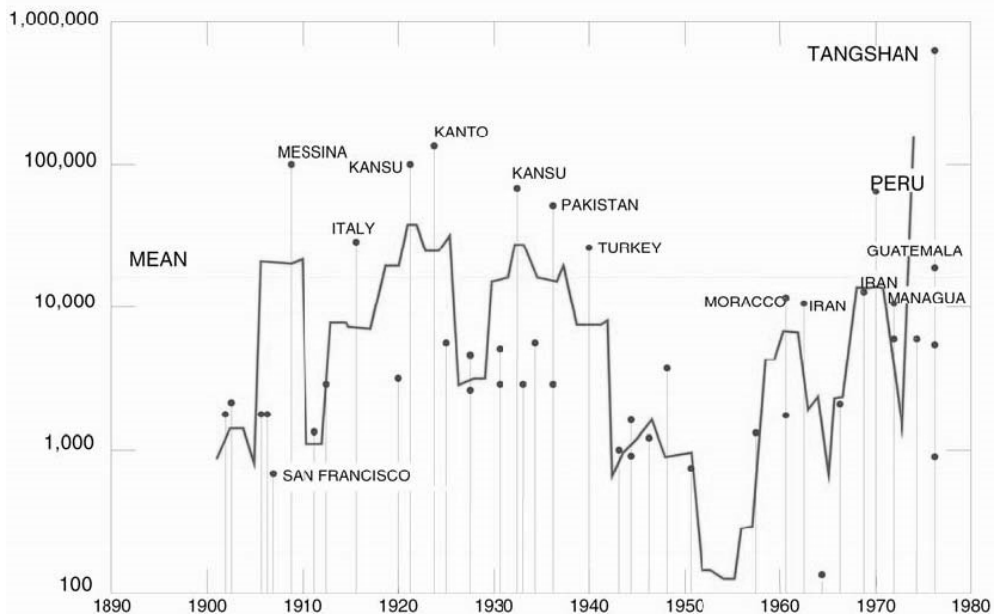


Figura 1.1. Pierderi de vieți omenești datorate cutremurelor majore în secolul 20 (Bolt, 2001)

Adițional, pierderile economice în urma dezastrelor naturale, care sunt de ordinul miliardelor, au crescut exponențial în ultimele 5 decade, o situație care nu trebuie perpetuată.

Este bine cunoscut că variabilitatea în producerea cutremurelor afectează obținerea de valori exacte ale acțiunilor seismice. Dar se pot obține informații generale corecte din examinarea factorilor care influențează mișcarea terenului.

Mișcarea seismică constituie una din principalele cauze ale degradării structurilor în caz de cutremur, și de aceea este importantă înțelegerea cât mai corectă a fenomenelor care o generează, a parametrilor care o caracterizează și a efectelor mișcării seismice asupra construcțiilor. Studiul mișcării seismice este un domeniu dinamic, datele achiziționate în urma cutremurelor din ultimul deceniu contribuind la o cunoaștere mai profundă și mai detaliată a acesteia.

Importanța pământurilor de fundare a clădirilor sau a construcțiilor subterane este mult mai mare în cazul acțiunilor seismice, deoarece prin acestea se transmit încărcările dinamice cu ponderea cea mai mare, care dimensionează de obicei construcția.

În ceea ce privește natura pământurilor din amplasamentul construcțiilor, se menționează că ea intervine în mărimea caracteristicilor mișcării atât prin fenomenul de amortizare, care tinde să disipeze energia undelor seismice, cât și prin fenomenul de amplificare care tinde să mărească valoarea accelerației seismului care se înregistrează la suprafața terenului, în raport cu cea din roca de bază de sub amplasamentul construcției.

Datele privind mișcarea pământului sunt fundamentale pentru a prevedea comportarea structurilor pe durata cutremurelor. Precizarea acestor mișcări este o problemă deosebit de dificilă datorită complexității condițiilor geologice și geotehnice. Fără date exacte, calculele efectuate de inginerii proiectanți de structuri se vor baza numai pe ipoteze.

Comportarea terenurilor sub încărcări dinamice prezintă aspecte foarte diferite față de comportarea la încărcare statică. Unele terenuri sub încărcări ciclice își sporesc rezistența prin compactare (de exemplu nisipurile afânate), altele își pot pierde rezistența (nisipurile saturate sau argilele sensibile). Compactarea dinamică a terenurilor depinde de mărimea deformațiilor cauzate de durata și frecvența procesului.

Undele seismice generate de energia eliberată în focar se transmit prin mediul de propagare în urma unor fenomene extrem de complexe de reflexie și refracție, datorate neomogenității și discontinuității straturilor pe care le traversează. În vecinătatea suprafeței libere a terenului, la contactul cu roca de bază, direcția de propagare a undei refractată este aproape verticală. Vitezele de propagare ale undelor elastice descresc din focar către suprafața liberă, iar intensitatea mișcării se atenuază cu distanța epicentrală. În general componenta verticală a mișcării seismice este mai mică ca valoare decât cea orizontală, deși proprietățile terenului se modifică mai pronunțat în direcția verticală.

Proprietățile dinamice ale terenurilor de fundare și în special rigiditatea lor seismică, proiectează mișcarea seismică în amplasament, acest efect al amplasamentului reflectându-se în coeficienții de teren „S”, care sunt în funcție de proprietățile și structurile geologice ale amplasamentului avut în considerare. Valoarea coeficientului  $\beta$  din expresia încărcărilor seismice depinde de rigiditatea terenului (normală, redusă sau mărită).

Studii referitoare la comportarea construcțiilor în timpul cutremurelor, în funcție de natura terenului de fundare urmăresc, următoarele aspecte:

- în ce măsură influențează proprietățile fizico-mecanice ale terenului intensitatea locală a mișcării terenului;
- care sunt terenurile supuse în permanență la transformări fizice în timpul trecerii undelor seismice și cum afectează aceste transformări structurile existente;
- ce influență au proprietățile terenurilor asupra comportării structurilor care interacționează cu terenul în timpul unui cutremur.

Modul în care o structură este afectată de un cutremur de pământ depinde într-o mare măsură de caracteristicile mișcării seismice. Cu toate că nu putem să controlăm mișcarea seismică în sine, trebuie totuși să încercăm să-i precizăm caracteristicile și să înțelegem modul în care acestea afectează răspunsul elastic și inelastic al structurilor.

Fenomenele complexe care generează și afectează mișcarea seismică, incluzând factorii de sursă, de propagare, de amplasament și de interacțiune teren de fundare – structură, variabilitatea și influența reciprocă dintre aceștia, fac precizarea exactă a unor evenimente seismice viitoare de domeniul imposibilului.

Totuși înțelegerea factorilor care afectează mișcarea seismică, cuplată cu evidențierea caracteristicilor care controlează răspunsul elastic și inelastic al structurilor de diferite tipuri sunt de real folos, ajutându-ne să construim structuri mai sigure pe viitor.

## 1.2. Obiectul tezei de doctorat

Teza de față are ca obiectiv analiza hazardului seismic în municipiul Timișoara cu ajutorul măsurătorilor geofizice, prelucrate cu programe de înregistrare a undelor seismice, efectuate în cele două foraje geotehnice, fiecare cu o adâncime de 35 m, fiind amplasate la INCERC filiala Timișoara și la Institutul de Agronomie din Timișoara.

Teza aduce o contribuție la analiza și definirea mișcării seismice din Timișoara, evidențiind influența principală a seismelor bănățene față de seismele din zona Vrancea asupra amplasamentului Timișoarei.

Hazardul seismic descrie amenințarea potențială cauzată de fenomenele care apar odată cu producerea unui cutremur. Hazardul seismic este de două tipuri: primar și secundar (indus). Hazardul seismic primar include: mișcarea terenului, faliile de rupere de suprafață și deformațiile tectonice ale suprafeței terenului. Hazardul seismic secundar (indus) include fenomene provocate de hazardul primar: lichefierea terenului, alunecările de teren, tasarea sau prăbușirea unor porțiuni de teren, avalanșe de zăpada sau gheață, tsunami (valuri uriașe în oceane și mări) și seiche (mișcarea puternică a apei în lacuri).

În urma analizării datelor seismice prelevate se reliefează mecanismul intra – placă a seismelor bănățene, diferențiindu-se de cele vrâncene, care sunt seisme intermediare inter – placă. Cea mai pregnantă caracteristică a acestor cutremure din punct de vedere seismologic este adâncimea redusă a focarelor, de obicei între 4 și 15 (20) km. Componentele verticale ale mișcărilor seismice de suprafață sunt importante ca ordin de mărime, ele putând acționa simultan cu cele orizontale, dar impulsurile verticale au perioade mai scurte decât cele orizontale. O constatare deosebit de importantă pentru comportarea structurilor este aceea că perioadele proprii verticale ale structurilor corespund cu perioadele de mișcare verticală, ceea ce conduce la amplificări importante pe verticală.

Scopul general al tezei este de a pune în evidență și de a cuantifica hazardul seismic din zona Banat - Timișoara, punând accent pe interacțiunea dintre trenul de fundare și structură, reprezentată prin zona activă, care joacă rolul de reazem deformabil.

Lucrarea este structurată în șapte capitole:

- Capitolul 2 prezintă principiile de bază ale cutremurelor, în care sunt descrise originea și cauzele cutremurelor, cutremurele tectonice, care sunt cele mai frecvente cutremure, magnitudinea și intensitatea cutremurelor, propagarea undelor seismice și înregistrarea mișcării seismice. Sunt descrise efectele cutremurelor, sunt prezentate cutremurele la nivel mondial și cele din România.

- Capitolul 3 prezintă comportarea terenului de fundare la cutremure. Se enumeră factori care influențează mișcarea seismică. Se descrie fenomenul de interacțiune dintre terenul de fundare și structură, comportarea pământurilor necoezive și coezive, fenomenul de lichefiere.
- Capitolul 4 descrie aspecte privind hazardul seismic pentru amplasamentul Timișoarei, începând cu descrierea seismicității regiunii Banat și istoria acțiuni seismice, folosind catalogul seismelor bănățene, se continuă cu prezentarea caracteristicilor seismelor din Banat și se analizează hazardul seismic cu ajutorul determinării condițiilor locale de amplasament pentru Timișoara, în care sunt evidențiate condiții de teren diferite în nordul și sudul Timișoarei, și a măsurătorilor geofizice efectuate în cele două foraje geotehnice, cu o adâncime de 35 m, prelucrate cu programe de înregistrare a undelor seismice, stabilindu-se viteza undelor principale și a celor secundare.
- Capitolul 5 se referă la comportarea construcțiilor la cutremure, se analizează comportarea clădirilor din zidărie, beton armat, lemn și oțel, și se prezintă unele aspecte privind comportarea clădirilor din zidărie pe durata acțiuni seismice.
- Capitolul 6 se referă la soluții de fundare pentru construcții în zone seismice, fiind enumerate diferite tipuri de fundații care diminuează efectele cutremurelor și clasificări ale infrastructurilor și a sistemelor de fundare sub aspectul comportării la acțiuni seismice.
- Capitolul 7 prezintă concluziile lucrării și contribuția personală a autorului.

## 2. CUTREMURE DE PĂMÂNT

### 2.1. Principii de bază ale cutremurelor

#### 2.1.1. Originea și cauzele cutremurelor

Ca definiție generală a cutremurelor de pământ se poate spune că ele reprezintă orice eveniment seismic, fie că este natural sau artificial, care generează unde seismice. Un cutremur de pământ se manifestă printr-o mișcare de vibrație și uneori printr-o mișcare violentă simțită la suprafața pământului, fiind rezultatul eliberării bruște a energiei în scoarța pământului.

Învelișul exterior al Pământului conține două straturi: litosfera și astenosfera, după cum se poate observa în structura internă a Pământului, redusă schematic la modelul prezentat în figura 2.1. Litosfera este împărțită în plăci tectonice, care plutesc deasupra astenosferei.

În acest context, deplasarea continuă și lentă a plăcilor tectonice produce modificări ale scoarței terestre în urma acumulărilor energetice în roci și a erupțiilor vulcanice, generatoare de rupturi și prăbușiri de amploare în interiorul litosferei. Aceste fenomene se manifestă periodic în scoarța terestră prin mișcări bruște și violente care sunt înregistrate la suprafața liberă a terenului sub forma cutremurelor de pământ.

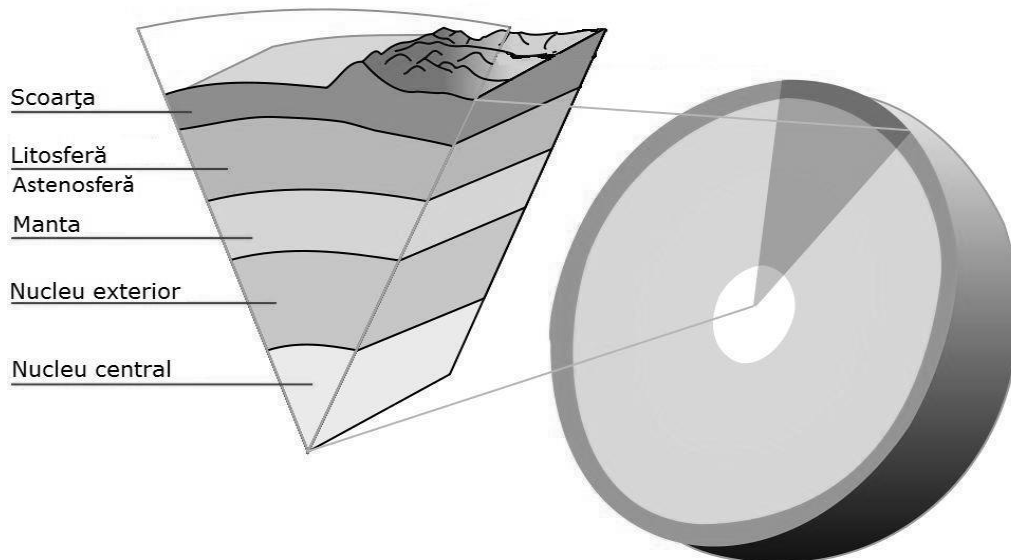


Fig. 2.1. Structura internă a Pământului (<http://wikipedia.org>)

Cutremurele sunt unde de șoc ce traversează interiorul Pământului de câteva milioane de ori pe an, dar marea lor majoritate sunt foarte slabe și nu pot fi detectate decât cu aparatură de mare finețe. Există și cutremure de mare intensitate, devastatoare pentru regiuni întinse. Cauza cutremurelor sunt mișcările plăcilor tectonice, care creează tensiuni la nivelul contactului dintre ele. Rocile posedă proprietăți elastice și energia acumulată se transformă în deformări elastice ale litosferei. Dacă forțele ce determină aceste deformări sunt suficient de mari pentru a depăși forțele de frecare din lungul limitelor plăcilor, atunci pereții ce vin în contact se deplasează brusc și energia elastică acumulată în roci este eliberată, provocând un cutremur.

Dacă limita de elasticitate a rocii nu este depășită, după mișcare ea revine elastic la forma originală. În acest caz, cutremurul este resimțit doar ca o zvâcnitură elastică. Dacă însă limita de elasticitate a rocilor este depășită, au loc rupturi ale acestora, însoțite uneori de apariția unor falii, de exemplu, falia tectonică San Andreas din California, S.U.A.(figura 2.2.), având o lungime de aproximativ 1300 km, formată pe linia de separație dintre placa Pacificului și placa Americană.

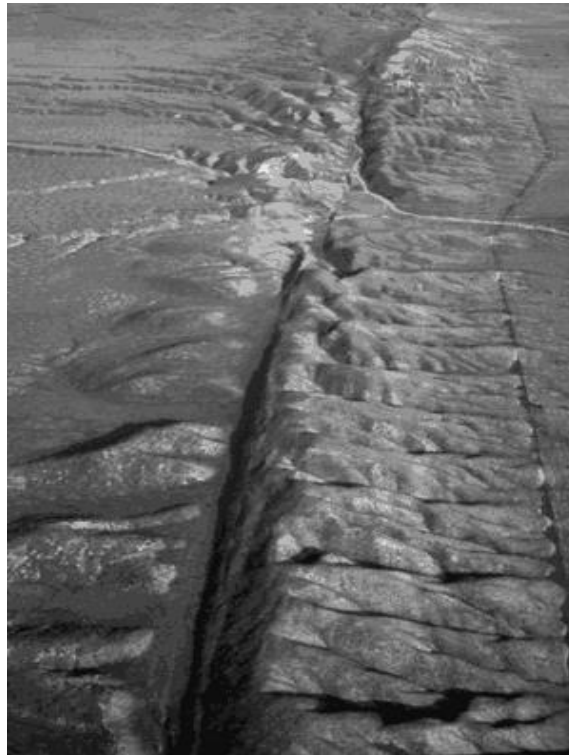


Fig. 2.2. Falia tectonică San Andreas, California, S.U.A, (<http://usgs.gov>)

### 2.1.2. Cutremurele tectonice

Cutremurele de pământ cu caracter distructiv, sunt de origine și natură variată, printre ele prezentând o importanță deosebită *cutremurele de origine tectonică*, atât din punct de vedere seismologic, cât și al efectelor asupra construcțiilor.

Cutremurele de origine tectonică sunt cele mai frecvente, iar energia pe care o eliberează se extinde pe zone întinse de la suprafața terestră. Șocul seismic se produce ca urmare a unei fracturări a rocilor care vin în contact într-un plan mai slab în care s-au acumulat în decursul timpului deformații elastice extrem de mari. Eliberarea bruscă a energiei de deformație, transformată instantaneu în energie cinetică, generează unde seismice care se propagă radial în toate direcțiile, iar prin procese de reflexie și refracție ajung la suprafața Pământului.

Conform teoriei plăcilor tectonice, dezvoltată de geologul german Alfred Wegener, care în anii '60 a ajutat în mod deosebit la înțelegerea cutremurelor, suprafața pământului conține *plăci tectonice*, de asemenea cunoscute ca și *plăci litosfere*, cu fiecare placă alcătuită din crustă și partea mai rigidă, stratul superior. Figura 2.3. ne arată locațiile plăcilor tectonice majore și săgețile ne indică direcția relativă a deplasării plăcilor.

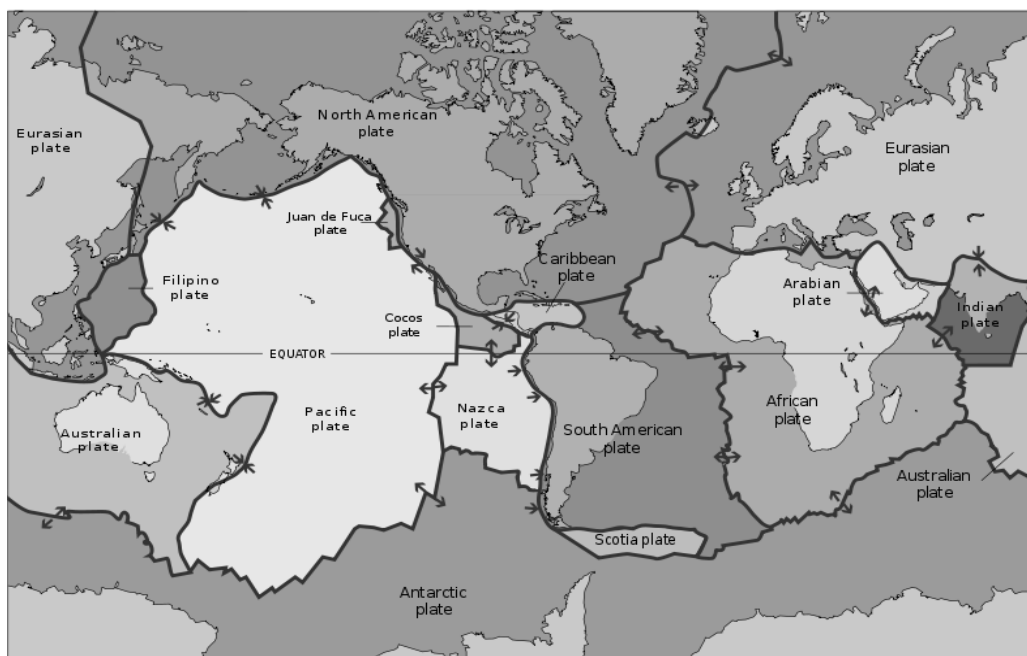


Fig. 2.3. Plăcile tectonice majore (<http://wikipedia.org>)

Teoria plăcilor tectonice susține că prin comprimarea puternică, care se manifestă la contactul dintre plăcile continentale, se produc deplasări mari fie datorită cedărilor în urma strivirii rocilor, fie datorită fenomenului de subducție (alunecarea relativă a unei plăci sub cealaltă).

Principalele plăci identificate sunt următoarele: Eurasiatică, Pacifică, Indiană, Australiană, Nord Americană, Sud Americană, Africană și Antarctică. Acestea au grosimea de aproximativ 80 km și plutesc pe mantaua semitopită a pământului, aflându-se într-o continuă mișcare (migrare). Plăcile oceanice au o mișcare mai rapidă decât plăcile continentale. Astfel de exemplu, placa Pacifică se mișcă cu circa 3 cm pe an mai mult decât placa Nord Americană.

Figura 2.4. ne arată locațiile epicentrelor cutremurelor majore. Făcând comparația între cele două figuri se poate observa că locația mari majorității a cutremurelor corespund cu granița dintre plăci. În funcție de direcția mișcărilor

plăcilor tectonice, se deosebesc trei tipuri : zone de frontieră divergente, convergente și de fricțiune.

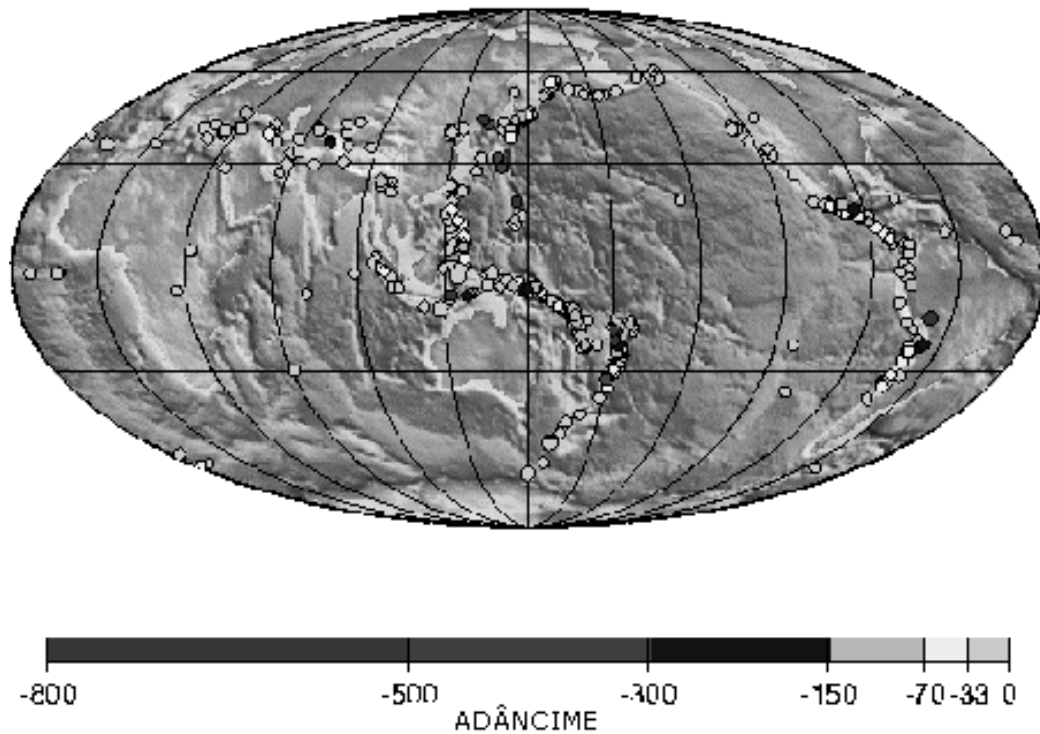


Fig. 2.4. Distribuția cutremurelor majore (1975 până în prezent), (<http://usgs.gov>)

Statisticele arată că 95% din cutremurele declanșate pe glob au fost cutremure normale, cu adâncimea focală sub 50 km. Se poate afirma că focarele adânci și majoritatea celor intermediare au fost semnalate în lanțul alpin care cuprinde sistemul muntos alpino – carpato - himalayan. Astfel un focar se găsește la 230 km sub Hindu-Kush, în Pamir, alt focar în zona Vrancea, sub cotul Munților Carpați, la 100 km adâncime, și al treilea situat la 270km sub insulele Lipari, în centrul arcului făcut de Apenini între Neapole și Sicilia. Focarele din zona Balcani și din Italia sunt focare normale sau crustale cu manifestări similare.

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 de fricțiune*. Cutremurele generate la marginile active ale plăcilor tectonice poartă denumirea de cutremure *inter-placă*. Pe lângă cutremurele generate la marginile active ale plăcilor tectonice, câteodată se produc cutremure devastatoare în interiorul plăcilor tectonice. Acestea 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 Chinei, zona Banatului.

În funcție de direcția mișcărilor plăcilor tectonice, se deosebesc trei tipuri : 1. zone de frontieră divergente(rifturi), 2. zone convergente(de subducție) și 3. zone de fricțiune.

1. *Zone de frontieră divergente(rifturi)*. Acestea survin când două plăci tectonice se îndepărtează una de cealaltă. Magma care țâșnește, se răcește și se solidifică, în timp ce plăcile tectonice se îndepărtează una de cealaltă și se formează o creastă de munte, cum se poate observa și în figura 2.5. Cutremurele în aceste lanțuri de munte sunt limitate pe creasta muntelui, acolo unde se formează o nouă crustă. Aceste cutremure tind să fie relativ mici și survin la adâncimi foarte mici.

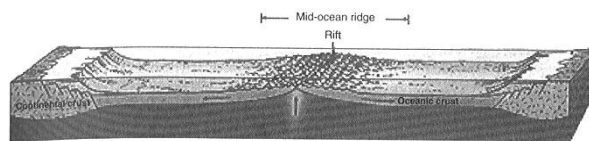


Fig. 2.5. Ilustrarea unei zone de frontieră divergentă

Când acest fenomen are loc pe un continent, se numește *rift* sau *falie gigantică*. Roca lichidă din astenosferă se ridică la suprafață, forțând continentul să se rupă și să se separe. Acest fenomen poate fi observat în figura 2.6.

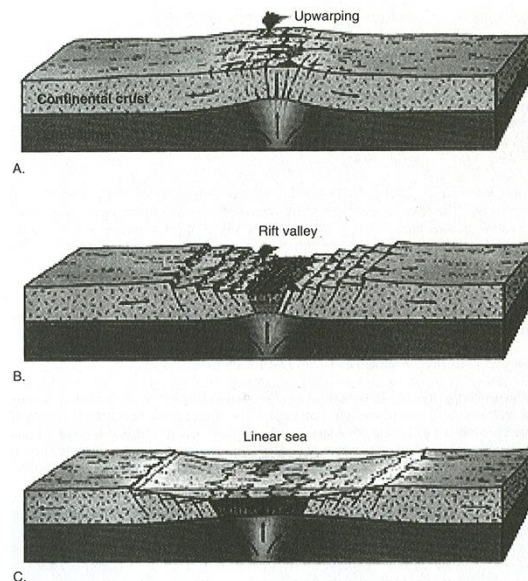


Fig. 2.6. Ilustrarea unei zone de frontieră divergentă formată pe continent

2. *Zone de frontieră convergente(de subducție)*. Acestea se produc când mișcarea relativă a două plăci tectonice se apropie una de cealaltă. Cantitatea crustei de pe suprafața pământului rămâne relativ constantă, prin urmare când o zonă de frontieră divergentă se produce într-o arie, o zonă de frontieră convergentă trebuie să se producă în alta regiune. Sunt trei tipuri de zone de frontieră convergente:

- a) *zona convergentă oceanic – continental*: în acest caz, o placă tectonică este forțată dedesubtul celeilalte plăci. De obicei în acest caz, placa oceanică, mai compactă, este cea care va ajunge dedesubtul plăci continentale.

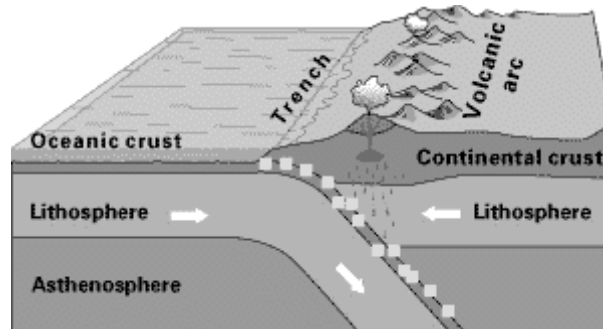


Fig. 2.7. Zonă de subducție oceanic – continental

- b) *zona convergentă oceanic – oceanic*: adeseori datorită acestei mișcări rezultă în formarea unui sistem de insule. În timp crusta oceanică întâlnește astenosferă, magma nou creată se ridică la suprafață și formează vulcane. Acestea cresc în înălțime suficient pentru a forma un lanț de insule.

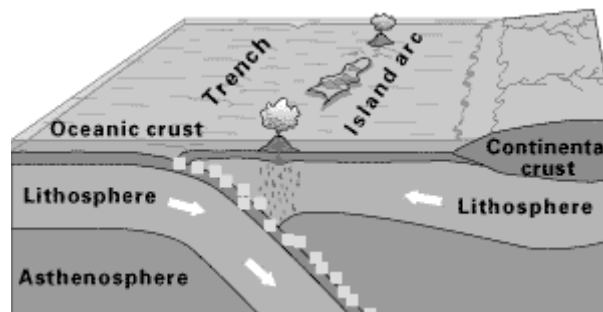


Fig. 2.8. Zonă de subducție oceanic – oceanic

- c) *zona de coliziune continental – continenta* : acest fenomen se întâmplă când două plăci continentale se ciocnesc, cauzând ca cele două mase să se deformeze și să împingă ascendent. Munții Himalaya marchează cea mai activă zonă de coliziune continental – continental.

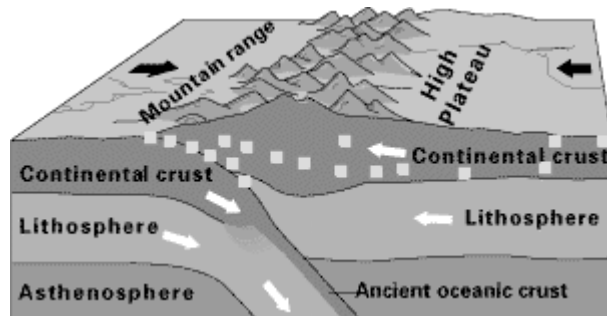


Fig. 2.9. Zonă de subducție continental – continental

3. *Zone de frontieră de fricțiune.* Acest fenomen implică alunecarea plăcilor una față de cealaltă, fără ca și crusta pământului să fie distrusă.

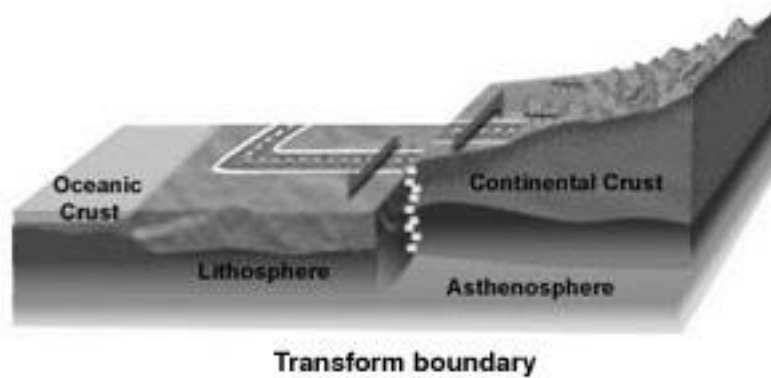


Fig. 2.10. Ilustrarea unei zone de frontieră de fricțiune

Punctul teoretic, în care se produce ruptura inițială (în realitate există o zonă de fracturare), sau regiunea eliberării inițiale de energie într-un cutremur se numește *focar sau hipocentru*. Marea majoritate a cutremurelor au loc în crustă sau în mantaua superioară, astfel încât focarul se află la adâncimi de câțiva zeci de kilometri până la sute de kilometri.

Localizarea poziției focarului și a epicentrului se obține pe baza prelucrării înregistrărilor mișcării seismice în stații echipate cu aparatură specifică.

Energia eliberată în focarul cutremurului se propagă prin unde seismice. Există două tipuri de unde seismice produse de vibrația cutremurului: *unde de adâncime*, care traversează interiorul Pământului, și *unde de suprafață*, care se propagă la suprafața Pământului.

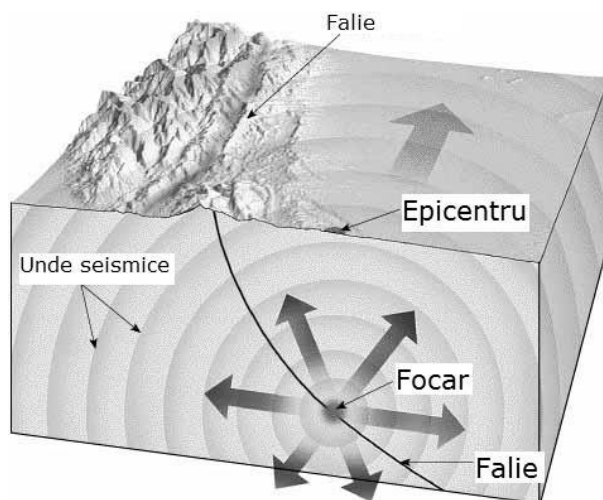


Fig. 2.11. Definiția focarului și a epicentrului unui cutremur de pământ

Undele seismice generate de un cutremur de pământ iau naștere undeva sub suprafața terenului, prin care se eliberează energia de deformație 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.

În funcție de adâncimea focarului, exprimată prin distanța  $H_F$  până la epicentru numită *adâncime* sau *profundzime* cutremurele se clasifică astfel:

- *Cutremurele crustale (normale, de suprafață)*, se află între limitele  $0 < H_F \leq 70$  km. În general cutremurele crustale au focarul situat deasupra suprafeței de discontinuitate. Aceste cutremure, care reprezintă peste 90% din cutremurele care se produc în lume, au o durată semnificativă relativ redusă, iar perioadele predominante specifice mecanismului de focar sunt în general scurte. Deși sunt extrem de violente, cutremurele crustale afectează zone destul de limitate de la suprafața Pământului. În această categorie se înscriu toate focarele care aparțin centurii circum-pacifică, zonelor din Asia de sud – vest, bazinul mediteranean etc. Cutremurele de suprafață au consecințele cele mai devastatoare, exemple de zone afectate de cutremure de suprafață sunt California (SUA), Turcia, zona 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.

Din categoria cutremurelor normale fac parte cutremurele superficiale ale căror focare se află în imediata apropiere a scoarței terestre (Agadir – 1960, Parkfield – 1966, Taşkent – 1966, Konya – 1967 etc.), până la o adâncime de 6 – 8 km.

- *Cutremurele subcrustale (intermediare)*, au focarul localizat în limitele  $70 \leq H_F < 300$  km. Durata acestor cutremure este moderată, iar perioadele predominante mai lungi, în timp ce aria de manifestare este mult mai mare. Focare intermediare identificate până în prezent sunt destul de reduse ca număr, fiind situate în Afganistan, Columbia, Mexic și zona Vrancea din România. Perioadele de revenire ale cutremurelor intermediare sunt mult mai mari decât ale celor normale.

- *Cutremurele de adâncime (de profundzime)* s-au semnalat în limitele  $H_F \geq 300$  km. Experiența acestor categorii de cutremure este mai redusă, existând unele

informații cu privire la durată (care este ceva mai mare) și la perioadele predominante care sunt lungi.

### 2.1.3. Tipurile de falii

Cutremurele violente generate de fractura rocilor din litosferă se datorează mișcărilor produse de alunecările în lungul unui plan de rupere, însoțite de eliberarea bruscă a unei energii. Aceste planuri de rupere se numesc *falii*, iar în momentul rupturii instantanee, capacitatea rocii respective a atins valoarea limită peste care nu mai este capabilă să mai acumuleze deformații elastice sau energie elastică de deformație. În general cutremurele se produc în lungul aceleiași falii, ceea ce caracterizează fenomenul de persistență a genezei mișcărilor seismice. Uneori faliile ar putea defini linia de contact dintre două plăci sau subplăci continentale sau oceanice. Faliile pot să rezulte printr-o alunecare înclinată, în care caz se produc mișcări în direcții opuse pe verticală sau oblice, sau printr-o alunecare verticală caracterizată prin mișcări laterale opuse.

Falia este definită ca fractura sau zona fracturată în roca unde are loc deplasarea. Lungimea faliei poate fi definită ca lungimea totală a faliei. Lungimea faliei poate fi asociată cu un cutremur specific, în acest caz poate fi definită ca și lungimea actuală a fisurii în lungul unei falii. Lungimea fisurii poate fi determinată ca și distanța fisurilor suprafeței observate.

Cutremurele tectonice au ca origine fie fenomenul de faliere, fie cel de subducție a plăcilor continentale, menționat în paragraful anterior.

Cea mai mare falie activă din lume o reprezintă falia San Andreas din statul California, S.U.A., a cărei lungime este de circa 1300 km. Marele cutremur din San Francisco, S.U.A., din anul 1906 a fost determinat de o alunecare relativă a acestei falii de aproape 65 cm.

Deplasările relative de-a lungul faliilor pot fi *lunecări lente*, care nu produc mișcări seismice, sau *ruperi bruște*, care produc evenimente seismice. 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 2.12.



Fig. 2.12. Efectul unei falii de fricțiune la suprafața terenului (<http://usgs.gov>)

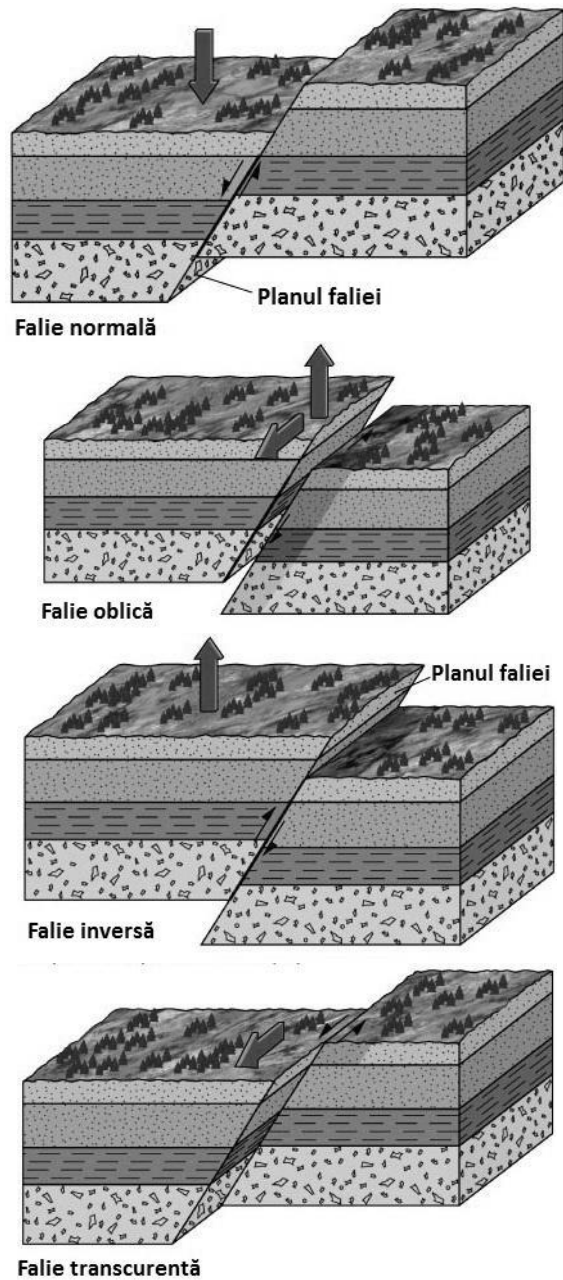


Fig. 2.13. Tipuri principale de falii (Oros, 2002)

Faliile sunt clasificate în funcție de geometria acestora și de direcția de alunecare relativă. Principalele tipuri de falii sunt reprezentate în figura 2.13. *Panta* unei falii este unghiul pe care îl creează suprafața faliei cu orizontala, iar *direcția* unei falii este direcția proiecției faliei pe suprafața terenului. O *falie de fricțiune*

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.

- *Falie de fricțiune (Strike-slip)* - deplasarea are loc paralel față de falia produsă

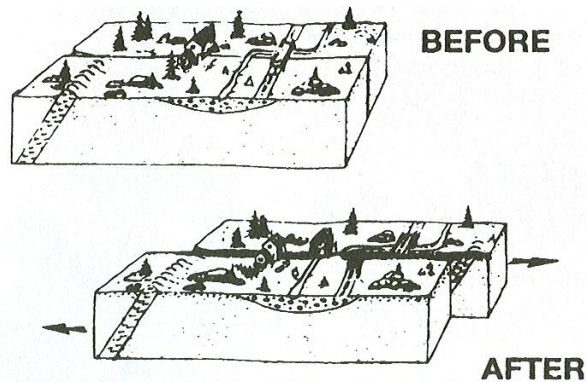


Fig. 2.14. Falie de fricțiune

- *Falie normală*

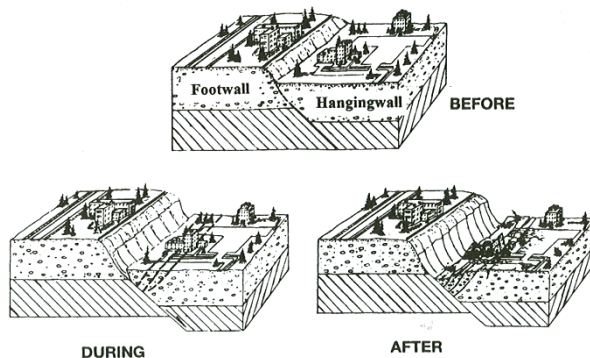


Fig. 2.15. Falie normală

- Falie inversă

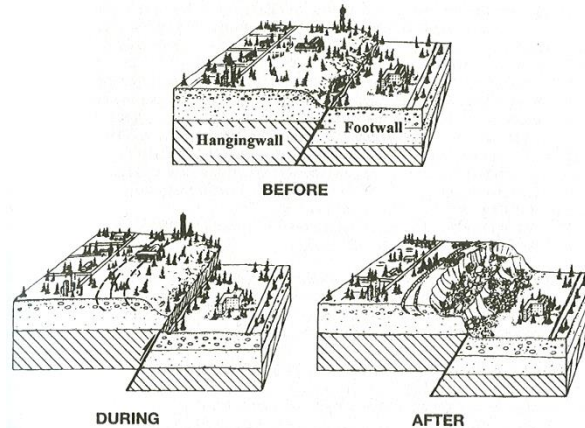


Fig. 2.16. Falie inversă

#### 2.1.4. Magnitudinea și intensitatea cutremurelor

Analiza științifică a cutremurelor necesită o cuantificarea a acestora. Înainte de apariția aparatelor seismice moderne, efectele cutremurelor de pământ erau estimate prin intermediul *intensității degradărilor*, care diferă de la un amplasament la altul și se bazează pe distrugerile cauzate construcțiilor și reacția oamenilor. 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. Magnitudinea se bazează pe măsurători instrumentate și astfel nu conține gradul de subiectivism pe care îl are intensitatea seismică. Cele două modalități de măsurare a cutremurelor rămân cele mai utilizate în ziua de astăzi, fiecare având câteva scări alternative.

În 1935, Profesorul Charles Richter, de la Institutul Californian de Tehnologie din S.U.A., a elaborat scara de măsurare a magnitudinii pe cutremurele din sudul Californiei, cunoscută și sub numele de scara de magnitudini Richter, notată cu  $M_L$ .

Tabelul 2.1

<b>Scara de magnitudini Richter</b>	
Magnitudine <b>1</b>	În mod normal nu este simțit.
Magnitudine <b>2</b>	În mod normal nu este simțit.
Magnitudine <b>3</b>	Este simțit adeseori, dar nu provoacă daune materiale.
Magnitudine <b>4</b>	Este simțit adeseori, dar nu provoacă daune materiale. Se aude zgomot.
Magnitudine <b>5</b>	Cutremur moderat. Este simțit bine. Mici daune la clădirile din apropierea epicentrului. Se aude zgomot.
Magnitudine <b>6</b>	Cutremur puternic. Clădirile care nu sunt rezistente se



	distrug pe o rază de câțiva kilometri de la epicentru.
Magnitudine <b>7</b>	Cutremur major. Cauzează multe daune importante pe câteva sute de kilometri de la epicentru.
Magnitudine <b>8</b>	Cutremur gigant. Există multe daune materiale, numeroase decese și mulți răniți pe sute de kilometri.
Magnitudine <b>9</b>	Super-cutremur. Foarte rar. Distruge tot sau aproape tot atât în zona epicentrului cât și într-o arie de mii de km <sup>2</sup> în jurul acestuia.
Magnitudine <b>10</b>	Inimaginabil. Până acum nu s-a înregistrat această magnitudine. Maximul înregistrat a fost 9.5.

Richter a proiectat această scară astfel încât valoarea 0 să corespundă celei mai mici valori înregistrate a unui cutremur. Nu există o limită superioară a scării Richter, cu toate că cutremure cu valoarea de  $M_L = 8$  sunt foarte rare.

Charles 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:

$$M_L = \log_{10} A - \log_{10} A_0 \quad (2.1.)$$

unde  $\log A$  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.

Tabelul 2.2  
Corelațiile între magnitudinea  $M_L$ , accelerația terenului, durata mișcării terenului și scara modificată Mercalli

magnitudine locala $M_L$	maximul accelerației terenului $a_{\max}$ în vecinătatea fisurii faliei	durata tipică a mișcării terenului în vecinătatea fisurii faliei	nivelul intensității după scara Mercalli modificată în vecinătatea fisurii
$\leq 2$	—	—	I-II
3	—	—	III
4	—	—	IV-V
5	0,09g	2 s	VI-VII
6	0,22g	12 s	VII-VIII
7	0,37g	24 s	IX-X
$\geq 8$	$\geq 0,50g$	$\geq 34$ s	XI-XII

Relația (2.1) implică o 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 și Richter au 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 ne semnificative. 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:

$$M_w = 2/3(\log_{10} M_0) - 10.7 \quad (2.2.)$$

unde  $M_0$  este momentul seismic, măsurat în dyn-cm.

Fenomenul de saturație se referă la 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.

Intensitatea seismică reprezintă cea mai veche măsură a cutremurelor. 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 (MM), Ross-Forel (R-F), Medvedev - Sponheur - Karnik (MSK-64), scara macroseismică Europeană (EMS-98) și scara agenției meteorologice japoneze (JMA). În România se utilizează scara MSK (descrisă în Tabel 2.3.), iar zonarea intensității seismice a României conform SR 11100/1 din 1993 este prezentată în figura 26. Există relații aproximative între intensitate seismică exprimată în grade și măsuri ingineresti, cum ar fi accelerația maximă a terenului.

Intensitatea unui cutremur este bazată pe observațiile structurilor avariate și în prezența efectelor secundare, cum ar fi alunecări de teren, fenomene de lichefiere și fisuri în teren. Intensitatea unui cutremur se mai bazează și pe gradul care a fost resimțit de către oameni, acesta fiind determinat prin interviuri.

Intensitatea unui cutremur poate fi ușor determinată în arii urbane unde se poate constata un grad mare de distrugerii. Scara de intensități folosită în România este prezentată în tabelul 2.3.

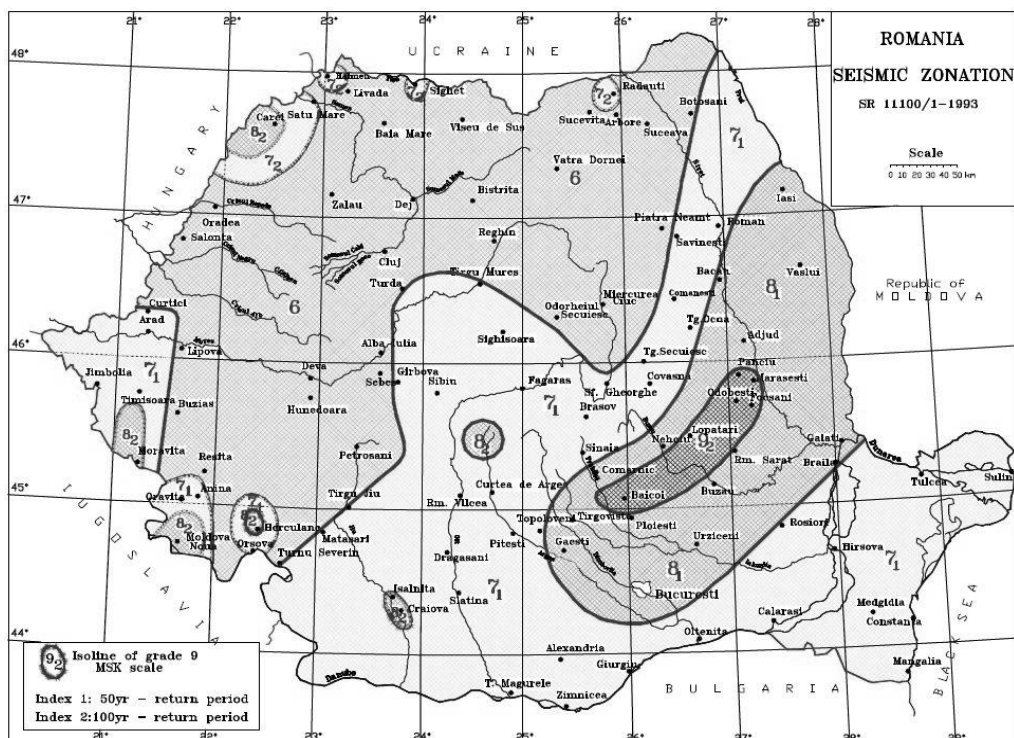


Fig. 2.17. Zonarea intensității seismice a României conform SR 11100/1 din 1993

Tabelul 2.3

Grad	Scara de intensitate seismica Medvedev – Sponheuer – Karnik MSK 64	
1	<b>Imperceptibil</b>	Intensitatea oscilațiilor rămâne sub limita sensibilității oamenilor. Cutremurul este detectat și înregistrat numai de seismografe
2	<b>Greu perceptibil (foarte slab)</b>	Simțit de persoanele în stare de repaus. Nu afectează obiectele. Fără daune asupra clădirilor.
3	<b>Slab</b>	Este simțit de puțini oameni, care se află în interiorul locuinței sau afară. Observatorii atenți remarcă oscilația ușoară a obiectelor atârinate, mult mai pronunțată la etajele superioare. Fără daune la clădiri.
4	<b>Moderat</b>	Este simțit de mulți oameni care se află în interiorul sau în afara locuinței. Din cei care dorm, puțini pot fi treziți. Ferestrele, ușile și vesela zăngăne. Pardoselile și pereții scârțâie, mobila începe să uruie. Obiectele atârinate, lichidul din vase oscilează ușor. Fără daune la clădiri.

<b>5</b>	<b>Suficient de puternic</b>	Zguduire generală a clădirilor. Este simțit de toți oamenii. Mulți dintre cei care dorm se trezesc. Putini oameni părăsesc locuințele. Animalele sunt neliniștite. Obiectele atârinate oscilează considerabil. Tablourile se deplasează din loc. Anumite obiecte fixate, pot fi deplasate. Ușile și ferestrele deschise se închid și se deschid cu zgomot. Din vasele umplute, deschise, lichidul se varsă. Avarii ușoare la construcții.
<b>6</b>	<b>Puternic</b>	Este simțit de toți oamenii. Mulți dintre ei, aflați în interiorul clădirilor se sperie și aleargă afara. Puține persoane își pierd echilibrul. Se pot sparge vase și obiecte din sticlă. Cad tablourile de pe pereți. Fisuri și crăpături în pereți, desprinderea unor bucăți de tencuială, căderea unor țigle de pe acoperiș, crăpături la construcțiile din cărămida.
<b>7</b>	<b>Foarte puternic</b>	Majoritatea oamenilor sunt speriați și părăsesc locuințele. Crăpături mari și adânci în pereți; căderea coșurilor de fum și distrugerea unor acoperișuri; surpări ale părților carosabile pe pante abrupte; distrugerii ale porțiunilor de îmbinare a conductelor. Se produc alunecări de teren.
<b>8</b>	<b>Distrugător</b>	Mobila se poate răsturna. Unele clădiri (părți de clădire) se prăbușesc. Se observa alunecări de teren în zonele depresionare și pe pantele abrupte. Apar crăpături mari în teren, au loc căderi de roci.
<b>9</b>	<b>Devastator</b>	Panica generală. Oamenii sunt aruncați la pământ. Se produc avarii importante ale structurilor construite corect, conductele subterane sunt parțial distruse, se produce deformarea șinelor de cale ferată și avarierea părților carosabile ale drumurilor. Au loc căderi de roci și multe alunecări de teren.
<b>10</b>	<b>Nimicitor</b>	Construcțiile se prăbușesc parțial sau în totalitate. Degradări importante în baraje. Șinele de cale ferată se deformează. Masive alunecări de teren.
<b>11</b>	<b>Catastrofal</b>	Majoritatea clădirilor și structurilor sunt distruse. Fracturi și deplasări ale terenului.
<b>12</b>	<b>Foarte Catastrofal</b>	Toate construcțiile de suprafață și subterane sunt distruse total. Suprafața pământului este complet schimbată, devieri ale cursurilor de apă.

### 2.1.5. Propagarea undelor seismice

Energia eliberată la producerea unui cutremur se propagă în toate direcțiile sub formă de unde seismice. Aceste unde cauzează mișcarea dezordonată a scoarței terestre. În seismologie se diferențiază două tipuri de unde : unde seismice de adâncime, acestea se pot propaga prin interiorul pământului și unde seismice de suprafață, se propagă doar în apropierea suprafeței terenului.

Undele de adâncime pot fi unde longitudinale (primare) P și unde transversale (secundare) S. Undele primare constau într-o succesiune de dilatări și comprimări cu viteza de propagare în funcție de natura terenului pe care îl parcurg. Undele secundare, perpendiculare pe undele primare, parcurg mediul cu o viteză  $V_s$  mult mai mică,  $V_p/V_s = 1.67-1.73$ . Undele de adâncime parcurg medii cu proprietăți mecanice diferite, având reflexii și refracții multiple. Astfel o undă primară se poate reflecta tot ca o undă primară, PP sau ca o undă secundară PS. Analog, o undă transversală se poate reflecta ca o undă secundară SS sau primară SP. Această explică înregistrarea unor sisteme la mii de kilometri de epicentrul lor prin reflexia și refracția multiplă a undelor de adâncime. Prin nucleul Terrei se propagă numai undele primare, mediul fluid al nucleului este incapabil să transmită undele transversale.

Undele de suprafață rezultă din interacțiune undelor de adâncime cu suprafața terenului. Se manifestă la suprafața scoarței terestre în timpul unui cutremur cu o viteză de 0,5 – 5 km/sec. Undele de suprafață pot fi longitudinale R(Rayleigh) asemeni celor de pe suprafața unui lac când bate vântul și unde transversale Q(Love) perpendiculare pe cele longitudinale.

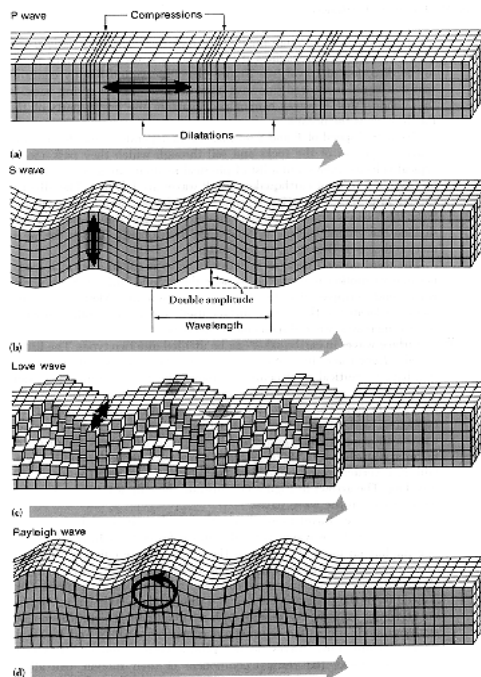


Fig. 2.18. Undele seismice generate de cutremure

Cele patru tipuri de unde seismice sunt analizate pe scurt în cele ce urmează (vezi figura 2.18.):

- Undele primare P (de adâncime), de compresiune sau longitudinale. Este o undă seismică care generează o serie comprimări și dilatări ale materialului prin care se propagă; au viteza cea mai mare și sunt primele care ajung într-un amplasament dat. Acest tip de unde se poate propaga atât prin materiale 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 secundare S (de adâncime), de forfecare, sau transversale; 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.

Este important de reținut faptul că mișcarea seismică într-un amplasament va fi afectată în cea mai mare măsură de undele secundare S, iar în unele cazuri și de undele de suprafață.

### 2.1.6. Înregistrarea mișcării seismice

Un seismograf este un instrument care, în funcție de timp, măsoară mișcarea suprafeței terenului cauzată de undele generate de un cutremur de pământ. În figura 2.19. 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 un pendul sau o masă atașată unui arc. În timpul unui cutremur, rola de hârtie fixată la 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.

Instrumentele moderne de înregistrare a mișcării seismice se numesc seismometre. Cele mai uzuale instrumente sunt accelerometrele (figura 2.20.), care înregistrează digital accelerația terenului, utilă pentru ingineria seismică.

Un astfel de instrument are de obicei trei senzori: doi pentru înregistrarea componentelor orizontale (nord-sud și est-vest), și un al treilea pentru componenta verticală a mișcării seismice. Valorile vitezei și cele ale deplasării terenului în urma unei mișcări seismice se pot obține ulterior prin integrarea accelerației.

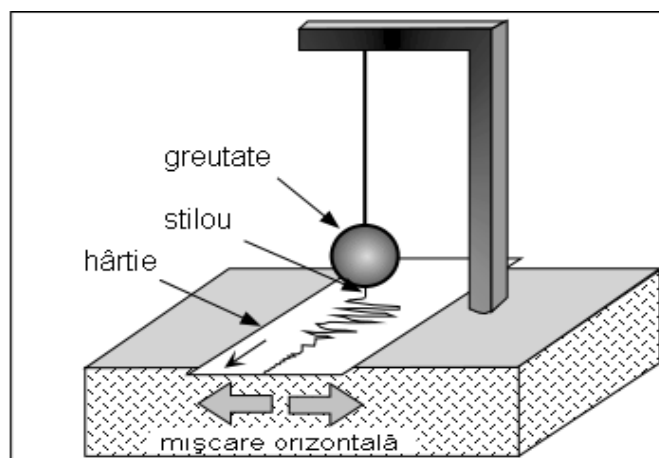


Fig. 2.19. Conceptul unui seismograf(<http://usgs.gov>)



Fig. 2.20. Seismometru modern K2 (<http://wikipedia.org>)

În calitate de exemplu, figura 2.21. prezintă înregistrări pentru componentele accelerației, vitezei și deplasării efectuate la stația INCERC - București în timpul cutremurului din 04 martie 1977 din Vrancea. Valoarea maximă a accelerației înregistrate este denumită valoarea de vârf a accelerației terenului.

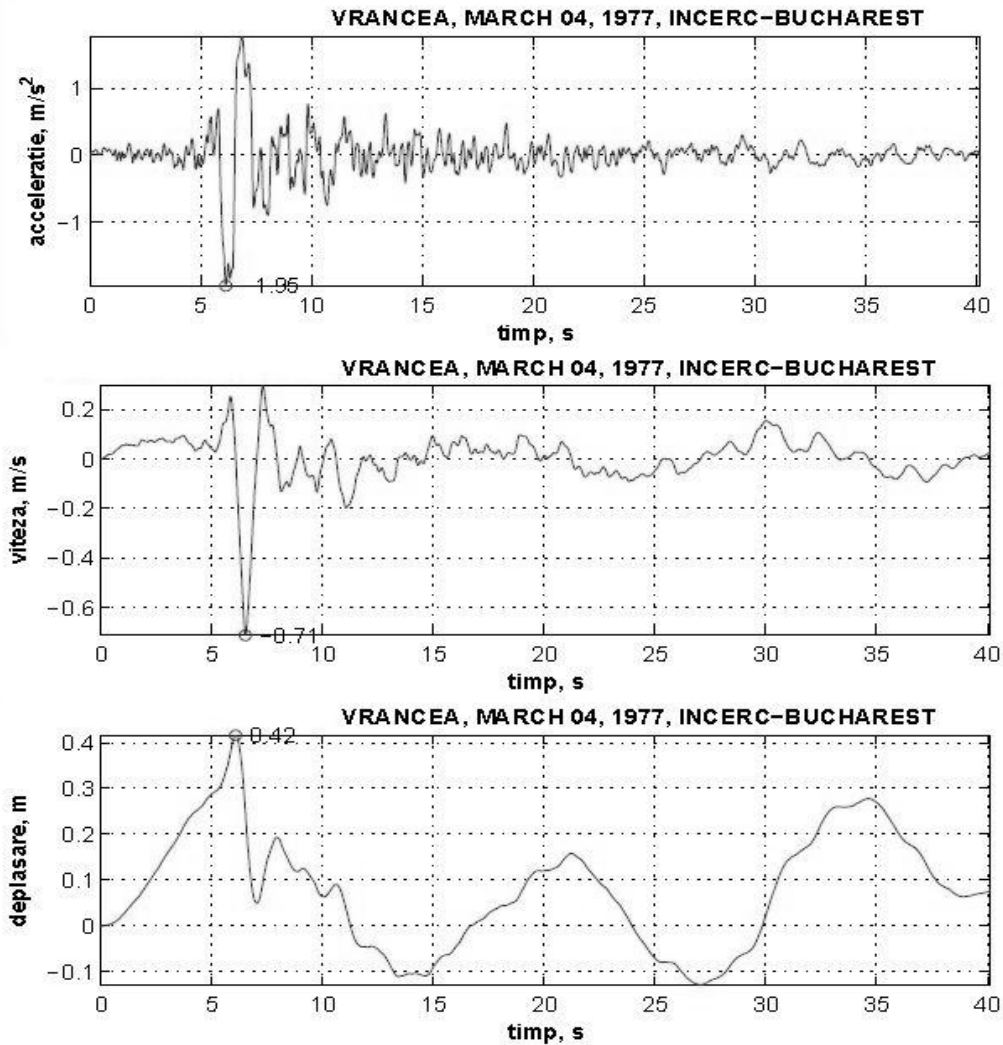


Figura 2.20. Înregistrări pentru componentele nord – sud ale accelerației, vitezei și deplasării efectuate la stația Incerc – București în timpul cutremurului din martie 1977 din Vrancea

## 2.2. Efectele cutremurelor

Peste tot în lume, cutremurele cauzează o cantitate considerabilă de distrugerii și mortalitate. Avariile cauzate de către cutremure pot să fie clasificate ca structurale sau nestructurale. Următoarele efecte ale cutremurelor, care stau la cauza deteriorărilor structurale în timpul unui cutremur, sunt de menționat:

- *Forțele de inerție* induse în structură datorită mișcării seismice. *Forța vibrației* – pentru cutremure mici (magnitudine mai mică de 6), forța cutremurului descrește rapid în raport cu distanța față de epicentrul



cutremurului. *Durata vibrației* – aceasta depinde de modul de rupere a faliei în timpul cutremurului. Cu cât mai mult terenul trepidează, cu atât crește potențialul deteriorării structurii. În general cu cât magnitudinea este mai mare cu atât crește și durata vibrației terenului.

- *Incendiile* cauzate de cutremurele de pământ
- Modificarea proprietăților fizice și mecanice ale terenului de fundare (*consolidări, tasări, lichefierii*)
- *Alunecări de teren*
- *Schimbarea topografiei terenului*
- Valuri induse de cutremure, cum ar fi cele oceanice (*tsunami*) sau cele din bazine și lacuri denumite și *seize*

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 2.22.). Reducerea acestui hazard seismic este obiectivul primordial al inginerilor proiectanți de structuri.

Pe durata unui eveniment seismic în corpul unei construcții se petrece un ansamblu de fenomene care modifică proprietățile de rigiditate, capacitatea portantă și deformabilitatea elementelor. Materialele care alcătuiesc construcția își modifică proprietățile prin detensionare, curgere, etc. Toate aceste modificări au ca sursă energia purtată de undele seismice și intrată în construcție. Ele constituie un fenomen de degradare față de condițiile de proiectare deoarece rigiditatea scade, deformabilitatea crește, capacitatea portantă se reduce iar condițiile de utilizare devin nesigure. La un nou eveniment seismic absorbția de energie este cu mult diminuată.



(a)

(b)

Fig. 2.22. Prăbușirea parțială a unei structuri în L'Aquila, Italia, cutremurul din data de 6 aprilie 2009,(a), efectele cutremurului din L'Aquila, Italia (b) (<http://www.zimbio.com>)

Procesul de degradare cunoaște forme vizibile: fisuri, crăpături, exfolieri, dislocări, flambaj, voalări. Există fără îndoială și avarii ascunse a căror prezență se poate doar bănuși după anumite indicii, dintre care unele pot fi vizualizate prin decopertări, altele deloc. Indicatorul general al stării de integritate – perioada naturală – și creșterea deformațiilor sunt argumente care confirmă modificarea structurii.

Degradarea structurilor se poate clasifica prin analogie cu modul de comportare al materialelor în:

1. *Degradare casantă* – a cărei evoluție este gradată de la microfisurare la fisurarea vizibilă; această degradare corespunde mortarelor, betoanelor, zidărilor, în general rocilor. Aceasta constituie un fenomen limită de trecere a monoblocului, cu rezistența și stabilitatea asigurată, într-o masă cu stabilitatea dată numai de frecarea dintre particule;

2. *Degradarea ductilă* –se manifestă prin reșezarea cristalelor în timpul curgerii. În cazul acțiunii seismice, cel mai bun material nu este nici cel mai ductil și nici cel mai rezistent, ci materialul cel mai stabil la degradare ciclică.



Fig. 2.23. Degradare cauzata de tsunami în timpul cutremurului din Alaska, Martie 27, 1964

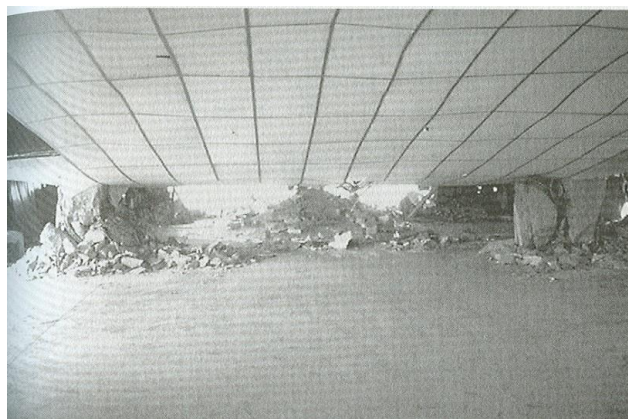


Fig. 2.24. Cedare din cauza torsiuni



Fig. 2.25. Vedere de aproape a stâlpului care a cedat din cauza torsiuni



Fig. 2.26. Prăbușirea unei clădiri în timpul cutremurului din Izmit, Turcia, August 17, 1999

Incendiile care se pot declanșa ca urmare a unui cutremur reprezintă un pericol major. Astfel, un exemplu de mare anvergură, în timpul cutremurului din 1906 de la San Francisco, doar 20% din pierderile totale s-au datorat distrugerilor directe din cauza mișcării seismice restul de 80% fiind cauza incendiilor, care au devastat orașul timp de 92 de ore, timp în care a mistuit 12 kilometri pătrați și aproximativ 25.0000 de clădiri din întregul orașul (figura 2.27.), fiind amintit ca una dintre cele mai mari dezastre naturale din istoria Statelor Unite ale Americii.



Fig. 2.27. Panoramă din San Francisco în ruine, mai 1906 (<http://wikipedia.org>)

Construcțiile având fundația în rocă sunt mai puțin probabil să fie supuse tasărilor diferențiate, în orice caz construcții având fundația în pământ pot fi supuse la tasări diferențiate. O structură poate fi supusă tasări diferențiate din următoarele condiții:

- fisura faliei la suprafață, care cauzează structurii deplasare pe direcția verticală și laterală;
- tasare din cauza fenomenului de lichefiere, când pământul de sub structură se prăbușește, datorită scăderii rezistenței la forfecare;
- tsunami poate cauza eroziunea pământului de sub fundații și astfel să se ajungă la tasarea structurii;

Distrugerile datorate comportării terenului de fundare au creat mari probleme în cutremurele din trecut. Un exemplu clasic este cazul cutremurului din Niigata din 1964 (vezi Figura 2.28), 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 slabe de fundare din fosta albie a râului Shinano, ca și teren de fundare. Ca urmare a mișcării seismice, multe clădiri s-au înclinat sau răsturnat ca urmare a lichefierii terenului de fundare. Un număr de 3534 clădiri au fost distruse și 11000 au suferit degradări medii până la severe, în prefectura Niigata, majoritatea datorându-se tasărilor inegale și fisurilor apărute în terenul de fundare.



Fig. 2.28. Răsturnarea unui ansamblu de blocuri la Kawagishi – Cho, Niigata, ca urmare a lichefierii terenului de fundare în timpul cutremurului din 1964



Fig. 2.29. Alunecări de teren în San Salvador, El Salvador, 2001 (<http://britannica.com>)

Alunecările de teren induse de cutremure (vezi Figura 2.29), 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 structuri precum 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 2.30.).



Fig. 2.30. În urma cutremurului din Sichuan, China, mai 2008, s-a format un nou lac în provincia Beichuan (<http://earthobservatory.nasa.gov>)

Tsunami-ul din estul oceanului indian din anul 2004, a fost generat de un cutremur având magnitudinea de 9,0 grade pe scara Richter (figura 2.31.), fapt ce se petrece la extremitatea plăcilor tectonice o dată la 10 ani dar nu întotdeauna cu un tsunami și cu distrugeri la scara celor din 2004. Tsunami-ul este un val de lungime mare, mai mic de 1 metru înălțime și remarcabil doar când ajunge în ape mai puțin adânci unde crește în înălțime.

Tsunami-ul reprezintă o undă energetică ce se propagă prin apa oceanelor, ca urmare a producerii unor erupții subacvatice, a unor cutremure și alunecări de teren submarine sau de coastă foarte puternice. Totuși pot exista și în interiorul lacurilor și râurilor mari cauzate de falii când se produce un cutremur. Valurile tsunami sunt imperceptibile în interiorul oceanelor, dar devastatoare pentru coaste. Tsunami-ul este provocat doar de evenimente de origine terestră: cutremure, alunecări de teren sau erupții vulcanice, în nici un caz de vânturi sau de uragane.

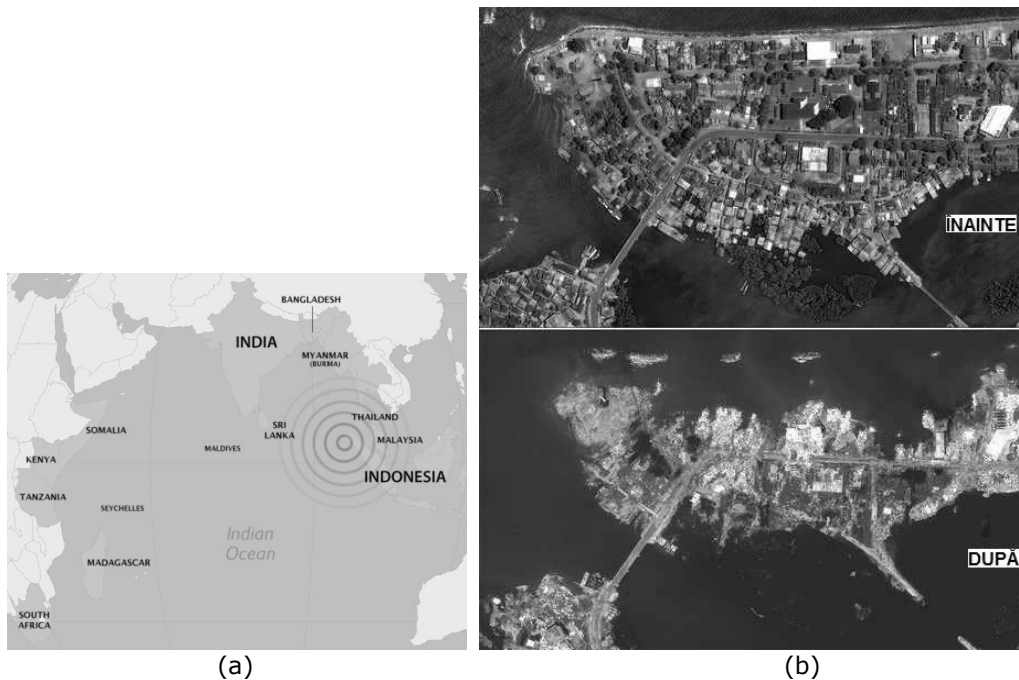


Fig. 2.31. Țările afectate de cutremur(a) și valurile tsunami care au urmat, vedere înainte și după valul tsunami, Banda Aceh, Indonesia(b)

Tsunami are o lungime de undă, o perioadă și o înălțime. Majoritatea valurilor tsunami sunt originare din perturbația seismică. Deplasarea crustei pământului de câțiva metri în timpul cutremurelor de pământ din apă pot acoperi zeci de sute de km și acordă o deosebită importanță potențialului energetic la o anumită cantitate de apă. Tsunami sunt evenimente rare și nu toate cutremurele le generează. Între anii 1861 - 1948, numai 124 de tsunami au fost înregistrate în urma a 15.000 de cutremure de pământ. În lungul coastei de vest a Americii de Sud, 1098 de cutremure de pământ au generat doar 19 tsunami. Această frecvență redusă a evenimentelor reflectă simplul fapt că majoritatea valurilor tsunami sunt de mică amplitudine și dispar neobservate, sau faptul că majoritatea cutremurelor provoacă tsunami ce necesită o adâncime superficială.

### 2.3. Cutremurele la nivel mondial

În fiecare an Pământul este zguduit de aproximativ 800 cutremure moderate, (magnitudine 5 - 5.9 grade pe scara Richter), 120 de cutremure puternice (magnitudine 6 - 6.9 grade pe scara Richter) și aproximativ 20 de cutremure majore de magnitudine 7 grade pe scara Richter sau mai mare.

## 40 2. CUTREMURE DE PĂMÂNT

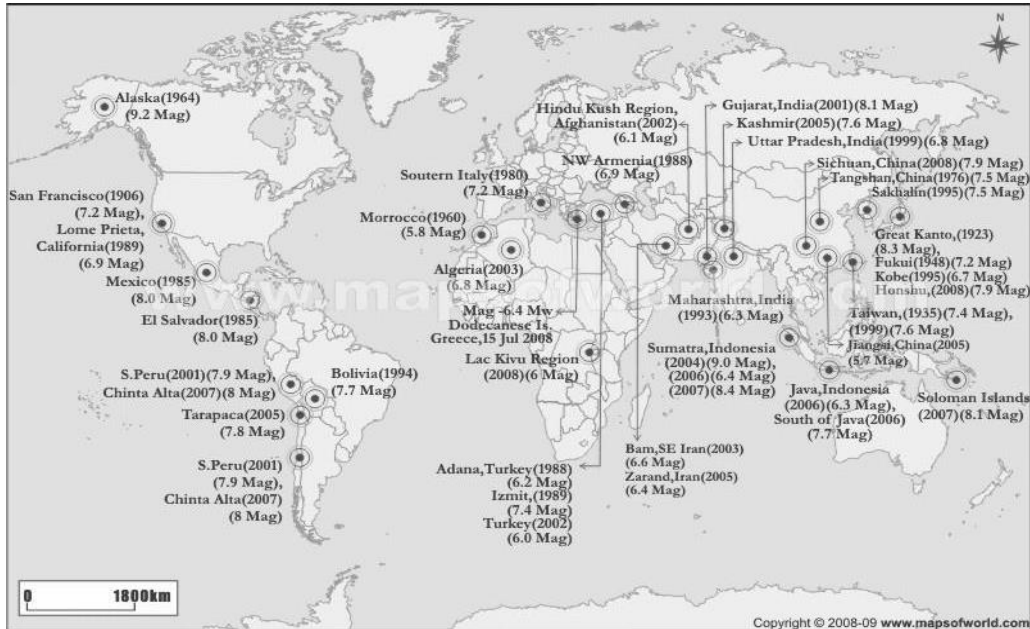


Fig. 2.32. Cutremurele cele mai majore de pe pământ (<http://mapsofworld.com>)

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 2.33.). Centuri cu o activitate seismică ridicată delimitează plăcile tectonice continentale și cele oceanice.

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 plăcilor tectonice 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.



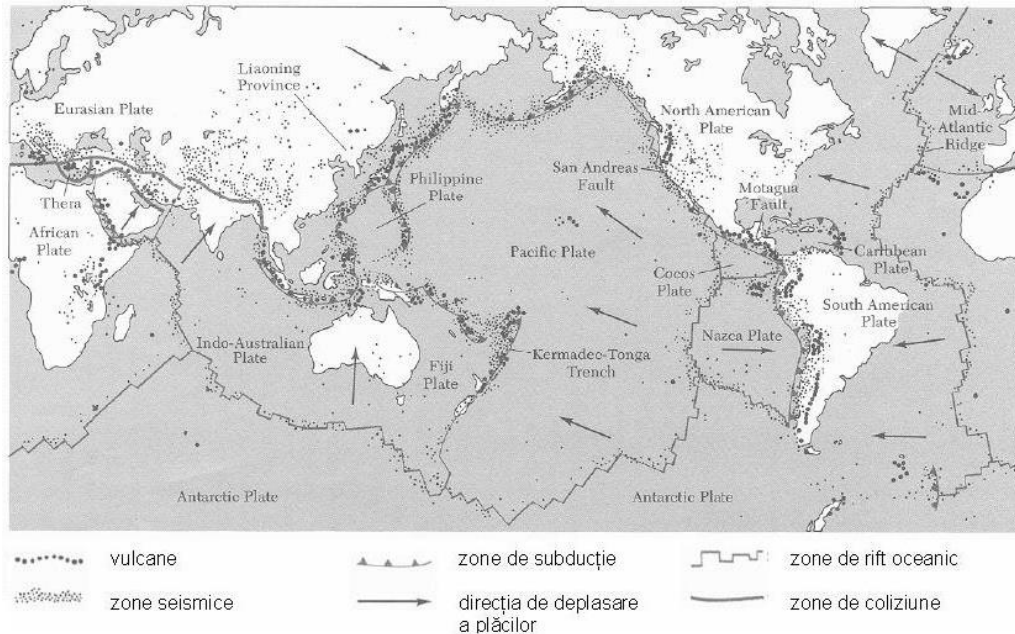


Fig. 2.33. Distribuția cutremurelor și plăcile tectonice (Bolt 2001)

În figura 2.34. se poate observa și poziționarea surselor seismice europene în funcție de adâncimea focarului din perioada 1990 - 2000. Studiul cuprinde 700 de evenimente. Din acestea, 63% au magnitudinea < 5.5 și 6 grade pe scara Richter, 10% se produc cu magnitudine între 6 și 6.5 grade pe scara Richter și numai 7% au magnitudine > 6.5 grade pe scara Richter.

În zona seismică Balcani are loc cea mai intensă activitate seismică din Europa. Sursele seismice din această zonă prezintă adâncimea focarului  $\geq 50$  km.

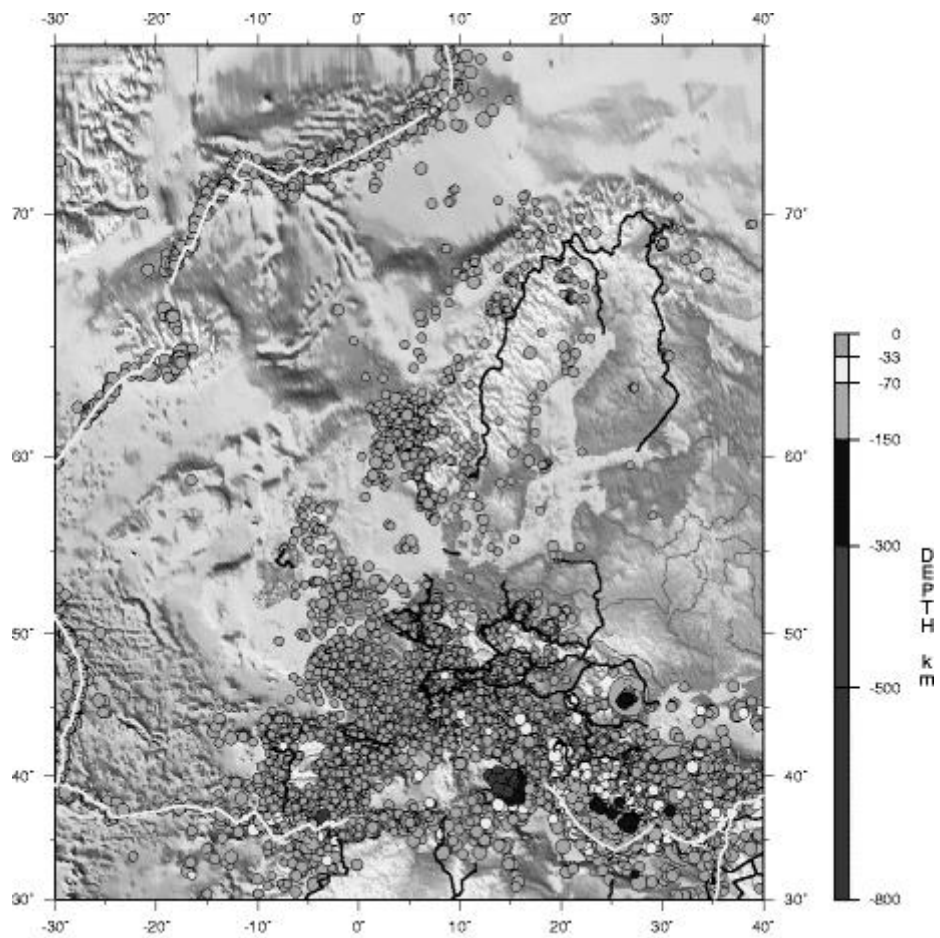


Fig. 2.34. Poziționarea seismelor europene din perioada 1990-2000 în funcție de adâncimea focarului

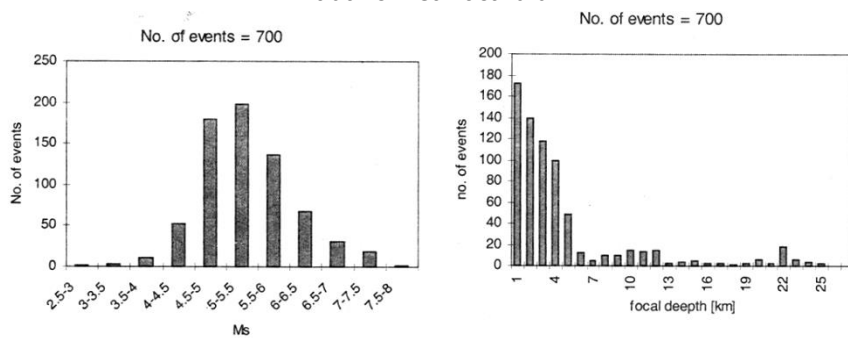


Fig. 2.35. Statistică a evenimentelor seismice în funcție de magnitudine / adâncimea focarului

## 2.4. Cutremurele din România

România face parte din sistemul structural și seismotectonic al Europei care se găsește la intersecția marilor plăci tectonice, eurasiatică și africană, mai precis, Europa constituie extremitatea vestică a mării plăci eurasiatice.

Țara noastră este afectată, în proporție de peste 60% de cutremure puternice sau moderate, dar care au influență și asupra restului țării. O caracteristică a acestor cutremure este diversitatea surselor tectonice, cuprinzând practic toate formele posibile: superficiale, crustale) și intermediare.

Teritoriul României prezintă o activitate moderată, iar frecvența și energia cutremurelor variază în limite foarte largi. În țară, în decurs de un an se înregistrează 300 – 400 de mișcări seismice, iar o mare parte își au originea pe teritoriul altor țări. Dar, efectele cele mai distrugătoare manifestate pe teritoriul țării au provenit din sursa Vrancea unde au loc procese de falieri cu focare normale sau focare intermediare la 90 – 170 km.

Prima înregistrare a unui cutremur foarte puternic în România s-a obținut în 4 martie 1977, pe accelerometrul SMAC-B, din rețeaua seismică INCERC. La acea dată existau 9 accelerometre pentru mișcări puternice (6 la nivelul terenului în București, câte unul la Vrâncioaia, Focșani, Galați și alte 3 instalate la ultimul etaj al unor construcții cu 11, 12 și 13 etaje din București și Galați) și 2 seismoscoape (instalate la nivelul terenului în București și Galați).

După cutremurul din 1977, rețeaua seismică a României s-a extins. Între anii 1980-82 s-au constituit 3 rețele seismice: rețeaua INCERC, rețeaua INFP și rețeaua GEOTEC. După 1995 s-a mai creat o rețea privind cutremurele din Vrancea. Cele 4 rețele destinate monitorizării seismelor din Vrancea cuprind circa 100 accelerometre, pentru înregistrări ale seismelor cu  $M > 4$ . Circa 25% din totalul accelerometrelor sunt amplasate în București, dintre acestea 50% aparțin rețelei INCERC. Celelalte accelerometre sunt amplasate în Moldova, Muntenia, Dobrogea și Oltenia.

Zona seismică cea mai activă și puternică este zona vrânceană, care a degajat până în prezent peste 90% din energia seismică de pe teritoriul țării și care afectează puternic mari zone din țara noastră.

Dar și cutremurele din Banat, Făgăraș sau Maramureș, care sunt superficiale și crustale, pot produce pagube considerabile pe arii foarte restrânse, în jurul epicentrului.

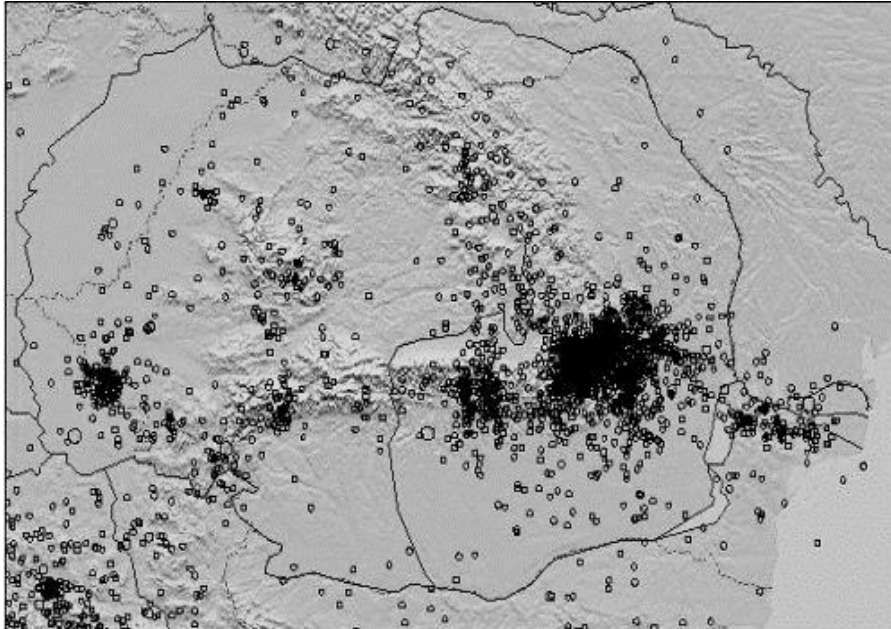


Fig. 2.36. Seismicitatea României (Geoscience Interactive Databases - Cornell University/INSTOC)

Caracteristicile acestor cutremure sunt foarte diferite de caracteristicile cutremurelor vrâncene, aşadar, manifestările seismice pe teritoriul ţării noastre sunt foarte variate. Una şi aceeaşi structură amplasată în zona influenţată de seismele bănăţene va avea o comportare complet diferită faţă de cea construită în zona afectată de seismul vrâncean.

Cutremurele normale, generate prin mecanismul de falieri, au fost localizate în Banat, Crişana, Maramureş, Bucovina, zonele Făgăraşului şi Târnavelor, Câmpia Română şi în sudul Dobrogei.

Astfel, România constituie o regiune tectonică variată. Teritoriul ţării noastre are numeroase zone cu activitate seismică corelate cu faliile existente producându-se deplasări crustale orizontale şi verticale. În zona Carpaţilor Orientali există tendinţa de înălţare a scoarţei mai mare decât în zona Carpaţilor Meridionali şi a Munţilor Apuseni. Tasări se înregistrează în zona Braşov - Miercurea Ciuc, Sânicolaul Mare - Nădlac, Constanţa - Mangalia.

În figura 2.37. se prezintă harta cu epicentre cu intensitate >VIII înainte de 1800 şi intensitate >VII (1800-1900) realizată la Institutul de Geofizică al Academiei din Praga. Pentru perioada 1901-1972, harta epicentrelor în funcţie de intensităţi şi adâncimea focarului este prezentată în figura 2.38.

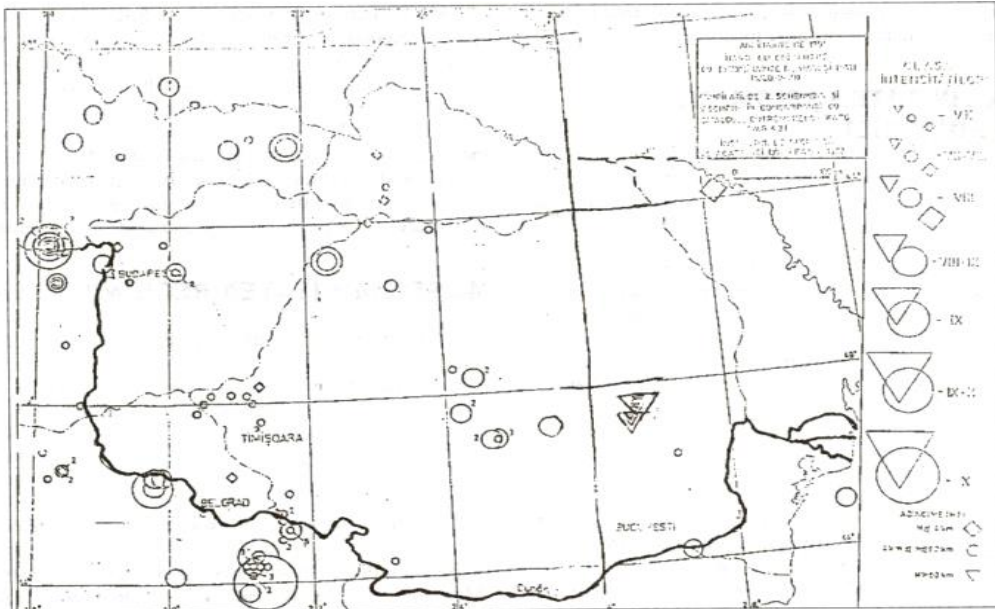


Fig. 2.37. Distribuția epicentrelor în funcție de intensitate și adâncimea focarului până în anul 1900

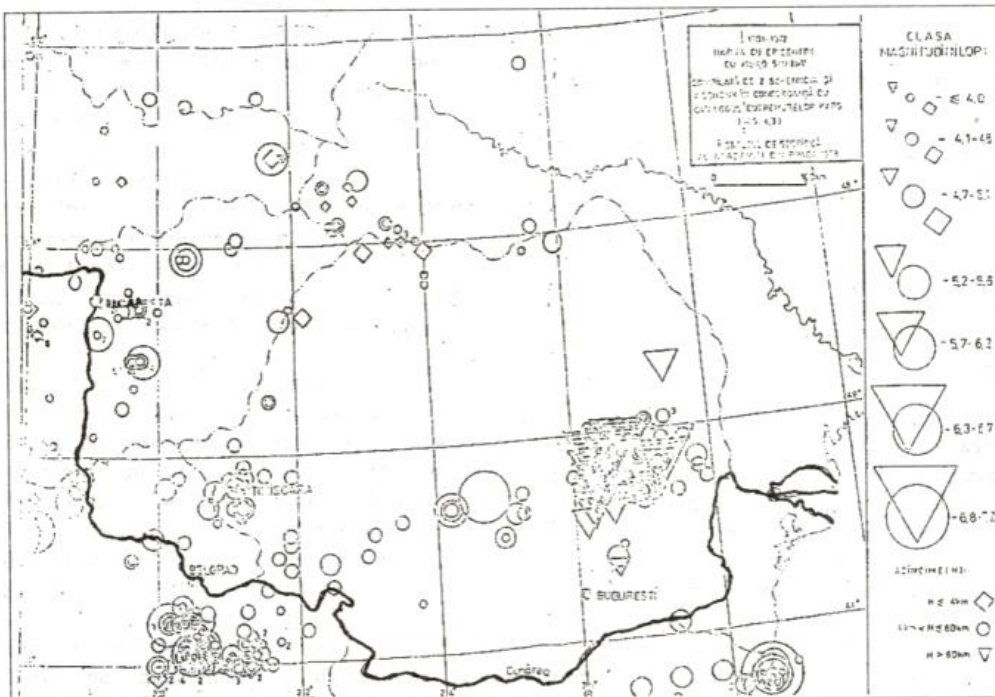


Fig. 2.38. Distribuția epicentrelor în funcție de magnitudine și adâncimea focarului, în perioada 1901 - 1972

Analizând numărul evenimentelor seismice produse pe teritoriul României se conturează două zone semnificative:

- zona seismică Vrancea (cutremure intermediare)
- zona seismică Banat (cutremure normale)

Tipul sursei unei acțiuni seismice determină în mare măsură caracteristicile de manifestare: intensitate, durată, teritoriul afectat, spectrul seismic.

Din punctul de vedere al ingineriei seismice, ultimii ani au fost caracterizați de o acumulare exponențială de cunoștințe, la aceasta contribuind seismologii, geotehnicienii și inginerii structuriști. Acumularea de noi cunoștințe sunt rezultatul analizării efectelor cutremurelor produse atât pe teritoriul țării noastre, cât și în alte zone seismice din lume și prin cercetări teoretice și experimentale efectuate în numeroase centre universitare și laboratoare de cercetare. Spre deosebire de concepția globală privind comportarea la acțiuni seismice, care caracterizează vechile cercetări, se poate afirma că rezultatul noilor studii constă în cunoașterea detaliată a fiecărui factor care influențează această comportare. Acest lucru este reflectat și în noua generație a codurilor de proiectare.

Evoluția normativelor de proiectare antiseismică din țara noastră (tabelul 2.4.) este marcată de producerea unor evenimente seismice care au necesitat intervenții la anumite paragrafe ale normei, practic, după fiecare eveniment urmând o revizuire și o nouă variantă. După variantele P13-63 și P13-70, care au reprezentat primele norme moderne de proiectare, au urmat versiunile P100-78 și P100-81, dictate de marele cutremur vrâncean din 1977. Dar din păcate, existând o singură înregistrare, cea de la INCERC București (zona Pantelimon) în martie 1977, s-a tras concluzia că acest cutremur are perioade proprii lungi, astfel încât variantele din 1978, respectiv 1981 au introdus acest aspect. Versiunea normativului P100-91 a fost elaborată ca urmare a seismelor vrâncene din 1986 și 1990. Aceste cutremure au arătat însă foarte clar că perioadele lungi au fost induse de terenul slab din zona Pantelimon. O nouă schimbare s-a produs după cutremurele din 1991 din zona seismogenă bănățeană, versiunea P100-92, care a dus la modificarea zonării seismice.

Caracteristica principală a modificărilor normativului P-100 după 1977 a fost presiunea sub care au fost efectuate, urgența fiind criteriul hotărâtor. Au lipsit în mare măsură date rezultate din cercetări teoretice și experimentale care să fundamenteze noile prevederi. De aceea modificările s-au referit la aspectele cele mai evidente, fără să se analizeze în detaliu implicațiile asupra proiectării curente.

Ținând seama de aceste aspecte, o acțiune de testare a prevederilor normativului P100-2004, în vederea revizuirii lui și elaborarea versiunii P100-2006 a constituit-o studiile efectuate la INCERC București, privind analiza de vulnerabilitate și risc seismic pentru unele zone seismogene și marile orașe din România, precum și cercetările efectuate la INCERC Timișoara, privind zona seismică bănățeană. Toate aceste cercetări au evidențiat faptul că era necesară o nouă etapă conceptuală, prin care teritoriul țării noastre să fie diferențiat în ce privește condițiile proiectării antiseismice.

Tabelul 2.4

## Evoluția normelor de proiectare antiseismică în România

Anul	Activitatea de normare	Activitatea de zonare
1940	Primul cutremur mare din perioada moderna	
1942	Primele specificații	
1958	STAS 2923-58 (neaprobat) Prescripții generale de proiectare în regiuni seismice. Sarcini seismice.	
1963	Primul normativ P13/63	Prima hartă seismică
1970	Versiune nouă P13/63	
1977	Seism vrâncean	
1978	Normativul P100/78	Revizuirea hărții seismice
1981	Versiune nouă P 100/81	
1986	Seism vrâncean	
1990	Noi seisme vrâncene	
1991	Versiune nouă P 100/91	Versiunea nouă a zonării
1991	Seisme bănațene	
1992	Versiune nouă P 100/92	Revizuirea hărții seismice
1993	Pregătirea noii versiuni a normativului P 100	
2000		
2004	Versiune nouă P 100/2004	Versiunea nouă a zonării
2006	Cod de proiectare seismic - Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri,indicativ P 100-1/2006	

Hazardul seismic din România este datorat contribuției a doi factori: contribuția majoră a zonei seismice subcrustale Vrancea și alte contribuții provenind din zone seismogene de suprafață, distribuite pe întreg teritoriul țării, vezi figura 2.39. (Lungu et al, 2003).

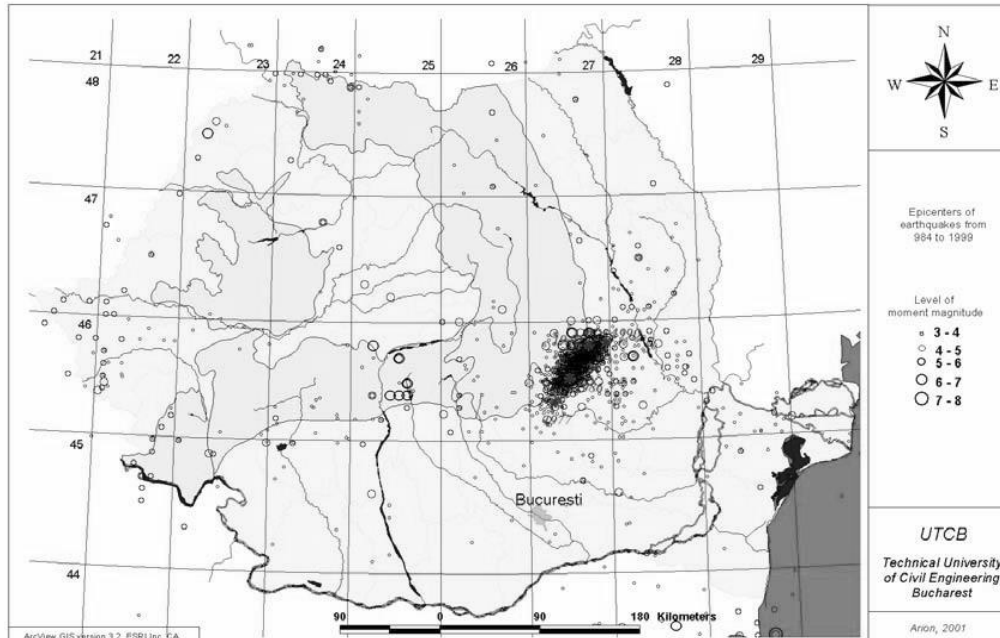


Fig. 2.39. Epicentrele cutremurelor ce au avut loc în România în perioada 1984 – 1999 (Lungu et al., 2003).

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. 40x80 km<sup>2</sup>. 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. Cel mai puternic cutremur vrâncean 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 Vrâncean 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 Vrâncean cu cele mai distrugătoare efecte asupra construcțiilor și primul cutremur puternic pentru care s-a obținut o acceleroqramă înregistrată în România a fost cel din 4 Martie 1977: magnitudinea Gutenberg-Richter  $M=7.2$ , adâncimea focarului  $h=109$  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 realitate înainte de cel de al doilea război mondial precum și 3 clădiri înalte din beton armat construite în anii '60 - '70.

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 2.40.



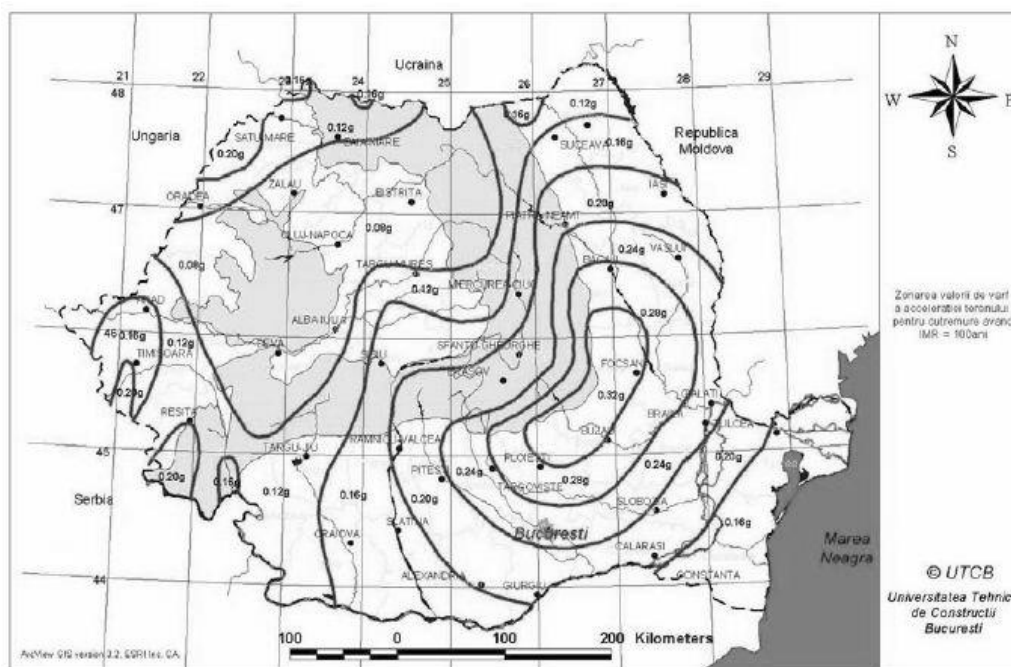


Fig. 2.40. Zonarea teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare  $a_g$  pentru cutremure având intervalul mediu de recurență  $IMR = 100$  ani, (P100 - 2006)

### 2.4.1. Considerații generale pentru Zona Banat

Din punct de vedere seismic, regiunea Banat este considerată a doua zonă din țara noastră, după zona Vrancea, cu o mare importanță din punct de vedere al hazardului seismic, având în vedere numărul mare de cutremure de pământ produse începând cu anul 1766 (peste 3500). Banatul este o regiune foarte bogată în focare proprii, focare care se grupează în 2 regiuni distincte: partea de sud-est a Banatului (Moldova Noua) și împrejurimile orașului Timișoara” (I. Atanasiu, Cutremurele de pământ din România, 1959). Banatul este o regiune foarte bogată în focare proprii, focare care se grupează în două regiuni distincte:

- regiunea din partea de SE a Banatului, în zona Moldova Noua, Orșova, Teregova, Sasca Oravița);
- regiunea Banloc, Timișoara, Jimbolia, Periam, Arad.

Analiza cataloagelor de cutremure disponibile (Catalog C. Radu, Catalog INFP) pentru zona Banatului (Tabelul 2.5.) ne arată o oarecare similaritate în ceea ce privește evaluarea magnitudinii evenimentelor importante, spre deosebire de cataloagele pentru sursa Vrancea unde există diferențe substanțiale. Se poate considera că analiza corespunzătoare celor două tipuri de magnitudine va fi similară.

Tabelul 2.5

Catalogul cutremurelor de suprafața din zona Banat (catalog Radu, catalog INFP)

Nr.	Data	Timp (GMT) h:m:s	Lat. N°	Long. E°	h Adâncimea hipocentruului (km)	I <sub>0</sub> Intensitatea epicentrală (MSK)	M Magnitudinea Guttenberg-Richter	M <sub>w</sub> Magnitudinea moment (INFP, 2002)
1	1794 Oct.19	09:00	46.2	21.3	10	VII	4.7	5
2	1847 Oct.15	06:15	46.2	21.3	10	VII	4.7	5
3	1849 Oct.17	09:30	46.1	20.9	10	VII	4.7	5
4	1879 Oct.10	15:45	44.7	21.7	7	VIII	5.3	5.3
5	1879 Oct.11	02:45	44.7	21.7	10	VII	4.7	5
6	1879 Oct.17	02:53	44.7	21.7	10	VII	4.1	5
7	1879 Oct.20	10:45	44.7	21.7	10	VI	4.1	5
8	1879 Oct.31	18:30	46.1	21.7	10	VI	4.7	4.7
9	1879 Nov.1	06:30	46.1	20.7	10	VI-VII	4.5	4.7
10	1879 Nov.19	23:10	45.7	21.2	10	VI	4.1	4.7
11	1879 Dec.22	04:03	44.7	21.7	10	VI	4.1	4.7
12	1880 Apr.13	11:20	44.7	21.7	10	VI	4.1	4.7
13	1887 Jul.10	02:56	46.0	21.2	10	VI	4.1	4.7
14	1894 Dec.19	21:30	45.0	21.7	8	VII	4.7	4.7
15	1900 Jan.29	01:15	46.0	21.2	8	VII	4.7	4.7
16	1901 Apr.02	16:55	45.5	20.7	18	VII	5.0	5
17	1902 Jan.21	12:46	45.8	21.5	5	VI	4.1	3.8

## 2.4. Cutremurele din România 51

18	1903 Jul.20	10:40	45.5	21.1	6	VI	4.1	4
19	1909 Aug.31	21:21:29	45.1	21.9	20	VI	4.4	4.4
20	1910 Oct.11	11:52:09	44.9	22.4	7	VI	4.3	4.3
21	1912 Apr.16	04:30	45.2	21.9	10	VI	4.1	4.1
22	1915 Oct.09	21:30	45.4	21.1	4	VI-VII	4.4	4.3
23	1915 Oct.19	08:30	45.4	21.1	5	VII	4.8	4.8
24	1915 Oct.27	-	45.4	21.1	(5)	VI	4.1	4.6
25	1927 May 31	22:58:15	44.9	21.7	10	VI	4.4	4.4
26	1936 Sep.06	04:49:02	45.7	21.1	10	VII	4.8	4.8
27	1938 Jul.08	06:32:49	46.0	20.7	6	VI-VII	4.3	4.3
28	1941 Aug.30	04:41:44	45.7	20.8	7	VII	4.8	4.8
29	1956 Oct.01	23:23	45.4	21.1	4	VI	4.1	3.8
30	1957 Sep.22	14:44	45.6	21.1	4	VI	4.1	3.8
3 1	1959 May 29	20:38: 38	45.6 5	21. 2	5	VII-VIII	5.0	5
3 2	1960 Oct.2 2	19:18: 48	45.6	21. 1	12	VI	4.1	4.2
3 3	1973 Aug. 23	14:52: 43	45.7 1	21. 1	25	VI	4.2	-
3 4	1974 Apr.1 7	01:31: 34	46.0	21. 1	20/33	VI	4.1	4.9
3	1978 Jan.1	02:29:	45.7	21.	15	VI	4.1	3

## 52 2. CUTREMURE DE PĂMÂNT

5	7	33	7	0				
3 6	1991 Jul.1 2	10:42: 21	45.3 8	21. 0	11	VIII	5.7	5.6
3 7	1991 Jul.1 8	11:56: 31	44.9 0	22. 3	12	VIII	5.6	5.6
3 8	1991 Jul.1 9	01:27: 32	45.3 1	21. 0	10	VII	4.8	-
3 9	1991 Aug. 12	04:59: 39	45.4 7	21. 1	14	VI	4.2	-
4 0	1991 Aug. 14	23:36: 03	45.3 2	21. 2	10	VII	4.6	-
4 1	1991 Dec.0 2	08:49: 41	45.4 5	21. 1	9	VIII	5.6	5.5
4 2	1991 Dec1 9	03:12: 22	45.9 1	21. 5	10	VI	4.1	-
4 3	1992 Dec.1 9	09:34: 06	45.6 4	20. 9	16	VII	4.1	-
4 4	2001 Aug. 02	21:50: 45	45.5 2	21. 0	5	-	-	3.3
4 5	2002 Mai 23	3:26:0 1	44.8 1	21. 7	-	-	-	3.6
4 6	2002 Mai 24	20:42: 28	44.8 4	21. 7	-	-	-	3.8
4 7	2002 June 22	13:26: 50	44.5 3	21. 7	-	-	-	3.5

Epicentrele cutremurelor bănăţene şi valorile magnitudinii moment pentru sud-vestul României (zona Banat-Caraş-Severin) sunt reprezentate în Figura 2.41.

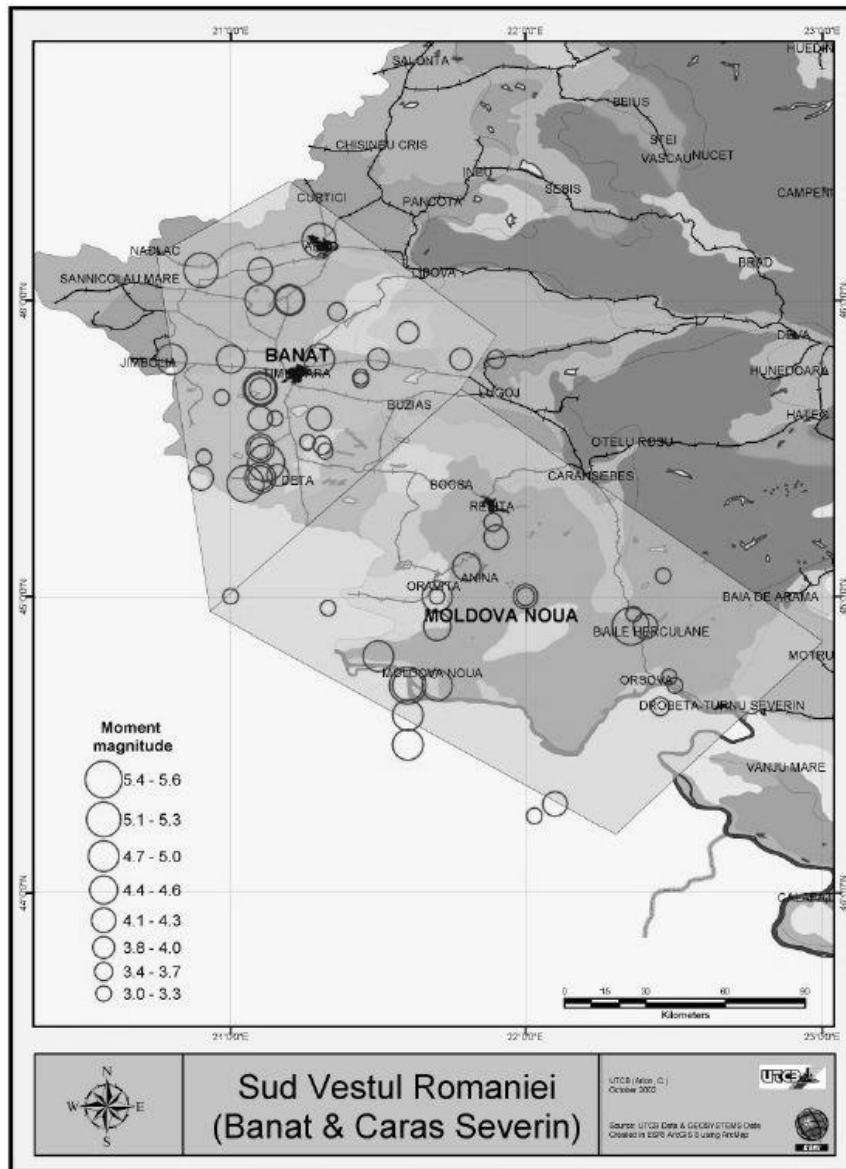


Fig. 2.41. Epicentrele cutremurelor bănăţene şi valorile magnitudinii moment pentru sud-vestul României

În tabelul 2.6. sunt indicate cutremurele bănăţene având intervalul mediu de recurenţă (IMR=50, 100 si 475 ani, 10% probabilitate de depăşire în 50 de ani) în funcţie de magnitudinea maximă credibilă a sursei  $M_{max}=6.1$ .

Tabelul 2.6  
Magnitudini ale cutremurelor din Banat pentru diferite intervale medii de recurență  
( $M_{\max}=6.1$ )

Sursa seismică	50 ani	100 ani	475 ani
<i>Banat (ambele surse)</i>	5.4	5.6	6
<i>Timișoara</i>	5.3	5.6	6
<i>Moldova Nouă</i>	4.8	5.2	5.8

Efectele cutremurelor bănățene trebuie corelate cu sistemul constructiv adoptat și materialele folosite în realizarea lucrărilor ingineresti. Astfel, avariile înregistrate după cutremure se remarcă cu pregnanță la fondul locativ vechi, la unele dintre ele locatarii au adus modificări sau anexe fără legături între ele.

Câteva mișcări seismice de amploare sunt consemnate prin efectele lor de istoria cutremurelor bănățene cu o extindere de aproape 300 de ani. Astfel:

- Cutremurul din octombrie 1915: În perimetrul localităților Ofsenița, Banloc cad peste 50 de coșuri de fum și turla bisericii din Banloc și 70 ziduri de calcar.
- Cutremurul din 1 octombrie 1956 (epicentru Banloc): Au fost afectate sute de frontoane și coșuri de fum în localitățile Banloc, Ghilad, Ciacova.
- Cutremurul din 27 mai 1959 (din zona Parța-Șag): cutremur cu o replică la 28 mai. După aprecierile mai multor stații seismice intensitatea cutremurului a fost de intensitate 8 în focar, 4-5 la Timișoara.
- La cutremurele din 12 august și 15 decembrie 1991 în principalele localități afectate Voiteg, Banloc, Ofsenița s-au constatat prăbușiri pe direcția NE-SW, prăbușiri pe verticală, ruperi, dislocări, ieșiri în plan vertical, crăpături, planuri de rupere la 45° și în „x”. La Timișoara, la clădirile din zidărie și cărămidă, de exemplu, cele situate pe Splaiul Tudor Vladimirescu au apărut crăpături în pereți atât la 45° cât și în x. La clădirile din zidărie ale Universității „Politehnica” au apărut numeroase fisuri și crăpături în pereți.
- Ca o concluzie cutremurele bănățene fiind mișcări polikineticе, au replici multiple care fac dificilă aprecierea avariilor datorită șocului primar, deoarece procesul deteriorării continuă la manifestarea replicilor secundare.
- Efectele cutremurelor bănățene au efecte dirijate după anumite direcții motivate de subsolul geologic și geotehnic al zonei. Fenomenul seismic se supune amplificării locale dar și de filtrare al terenului aluvionar.
- Zona Banatului are un fond construit vechi de mari proporții, care nu a fost supus unor lucrări de asigurare antiseismică.
- Din cele de mai sus rezultă necesitatea continuării studiilor de microzonare seismică, reevaluarea curbei spectrale a coeficientului dinamic pentru această regiune ca și a coeficientului încărcării seismice verticale.

Cutremurele din SE Banatului au epicentrele în jurul localităților Teregova, Oravița – Sasca, Moldova Nouă, Vrsac (Serbia). În data de 10 Octombrie 1879, s-a produs cel mai puternic eveniment seismic din secolul XIX. Acesta a fost urmat de 80 de replici, iar datorită condițiilor geomorfologice, aria afectată a avut o formă alungită de-a lungul Dunării, în direcția NW-SE. Efectul distructiv al acestor cutremure din SE Banatului se resimte pe o zonă restrânsă de formă alungită, de-a

lungul liniilor seismice menționate anterior. În câmpia Banatului au fost semnalate mai multe focare seismice, dar în special cele din jurul orașului Timișoara au provocat daune materiale. În data de 20 Noiembrie 1879, la Timișoara, un puternic cutremur a produs daune unor biserici și clădiri din suburbii.

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 1990,  $M=5.7$ ,  $h=11$  km.

În zona seismică crustală, Porțile de Fier, au fost identificate mai multe focare: Orșova (focare care activează rar și cu intensitate mică), Gura Văii, Turnu Severin, Vârciorova. Adâncimea focarelor nu depășește 10-12 km. Aceste focare se află pe o linie epicentrală Orșova – Gura Văii – Turnu Severin, paralela cu cursul Dunării. Analiza arhivelor de cutremure având epicentrul în această arie a reliefat faptul că aceste cutremure nu au depășit intensitatea epicentrală  $I_0 = 6$ .

Județul Timiș este situat în partea de vest a teritoriului României și cuprinde cea mai mare parte a Câmpiei Banatului (Figura 2.42.). În partea de nord se învecinează cu județul Arad, în partea de sud cu județul Caras-Severin, iar în partea de vest cu județul Hunedoara.

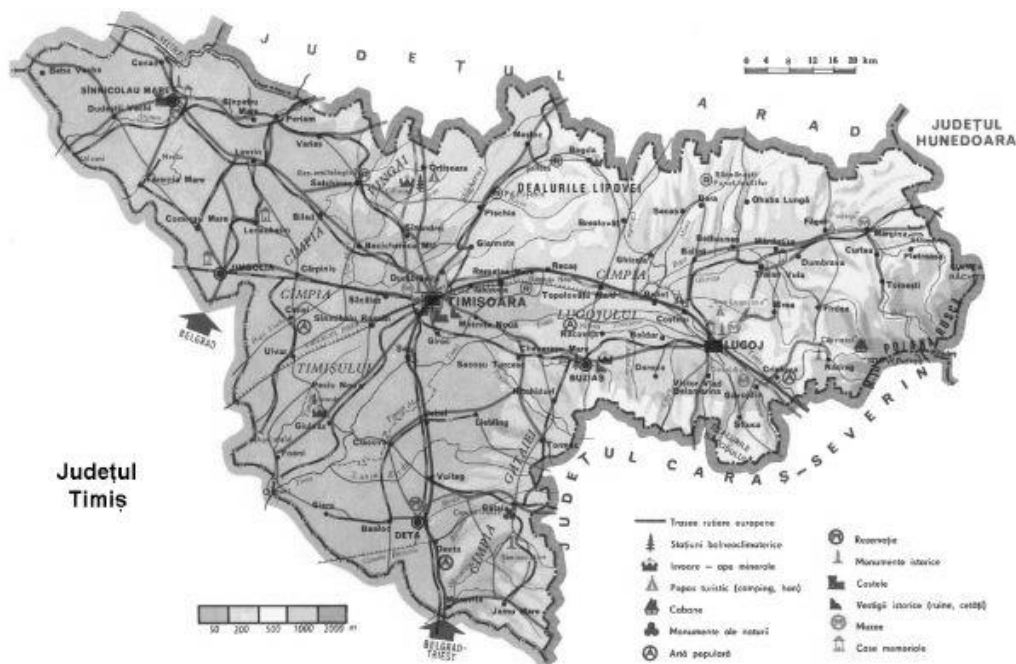


Fig. 2.42. Harta fizico – geografică a județului Timiș

- Aspecte geologice

Din punct de vedere geologic se întâlnesc în partea superioară a stratificației numai formațiuni cuaternare până la adâncimi ce depășesc 20 m în cadrul localităților Timișoara, Sânnicolau Mare, Recaș și până la adâncimi de 9 - 11 m la Lugoj și Făget. Teritoriul județului Timiș se află în întregime pe fundamentul cristalin carpatic, fracturat și scufundat inegal în unitatea de câmpie și ridicat ca un horst în

munte și uneori în dealuri. O linie principală de fractură, cu direcție nord-sud, limitează spre est zona scufundată, trecând pe la vest de Buziaș. Pe acest aliniament se găsesc iviri vulcanice sau ape termale și minerale (Buziaș). În câmpie, pe fundamentul cristalin se dispun formațiuni mezozoice, peste care urmează sedimente tortonian-pliocene. La suprafață, câmpia este compusă dintr-o succesiune de nisipuri, argile și pietrișuri, toate de vârsta cuaternar. În câmpia joasă predomină aluviunile recente, cu excepția Câmpiei Jimboliei, unde se găsesc loessuri. Dealurile au la suprafață marne, nisipuri și pietrișuri de vârstă panoniană. La sud-est de Buziaș apare și cristalin, iar la est de Podișul Lipovei sunt iviri de cretacic și de eruptiv neogen. Munții Poiana Ruscă se compun din roci de tipul sisturilor verzi. Harta geologică a județului Timiș este prezentată în figura 2.43.

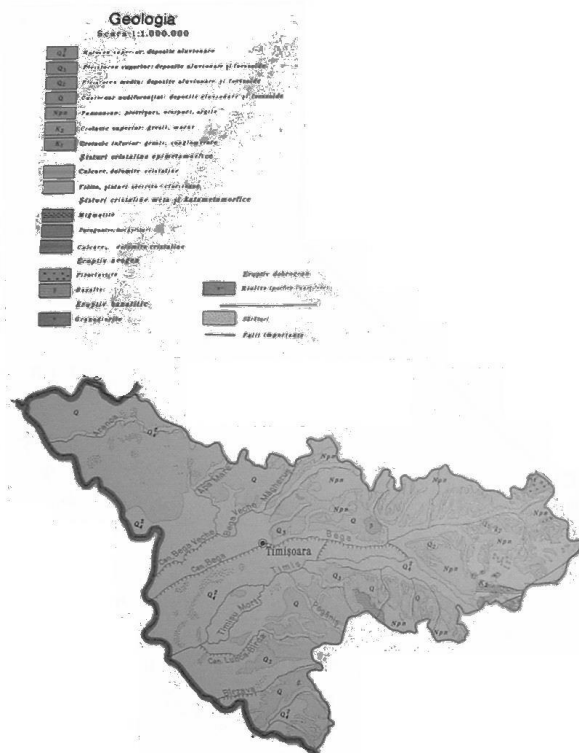


Figura 2.43. Harta geologică a județului Timiș

- Aspecte geotehnice

Stratificația terenului până la adâncimi ce interesează din punct de vedere geotehnic este dominată de pământuri argiloase în zona de nord a municipiului Timișoara, de pământuri nisipoase în zona mediană și la sud, acestea prezintă un caracter încrucișat în zonele de trecere și pe porțiuni din estul municipiului. Zonarea geotehnică a județului Timiș este prezentată în figura 2.44.

Din analiza caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor din diferite zone ale municipiului Timișoara și de la adâncimi până la 15-20 m, rezultă că acestea sunt sensibil apropiate. Succint aceste pământuri pot fi caracterizate prin plasticitate



mare ( $I_p=28-33\%$ ), stare de consistență mijlocie (plastic consistent-vâtoase,  $I_c=0,65-0,83$ ), porozitatea medie ( $n=39,5-43,1$ ) și compresibilitate edometrică mare ( $M_{2-3}=6100-8500$  kPa, respectiv tasarea specifică la 200 kPa,  $\varepsilon_2=4,05-5,79$  cm/m).

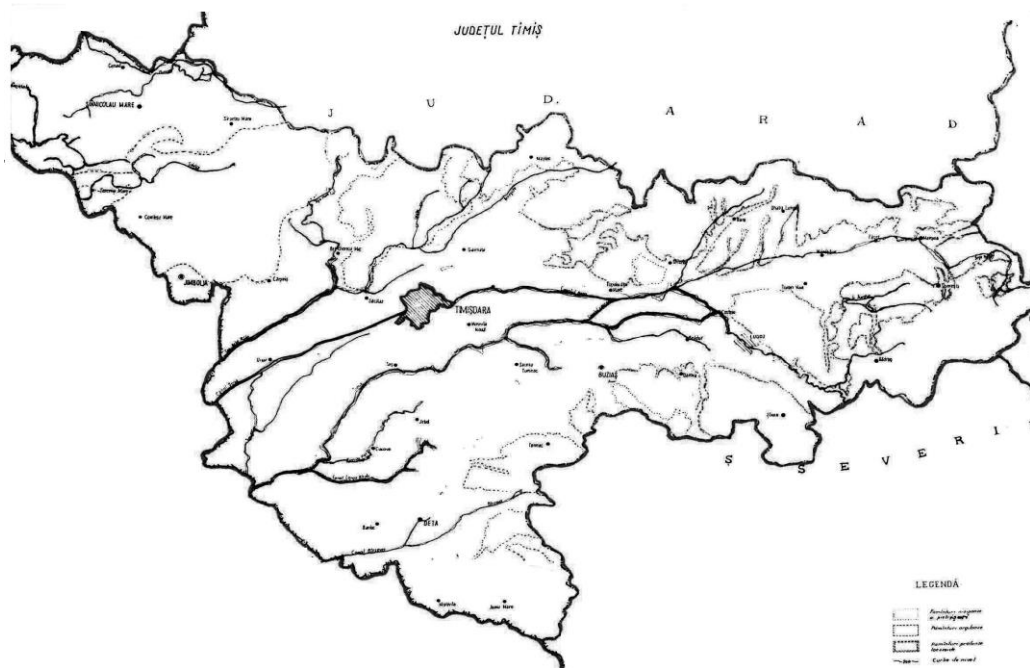


Fig. 2.44. Zonarea geotehnică a județului Timiș

## **3. COMPORTAREA TERENULUI DE FUNDARE LA CUTREMURE (ACȚIUNEA SEISMICĂ)**

### **3.1. CONSIDERAȚII GENERALE**

Datele privind mișcarea pământului sunt fundamentale pentru a prevedea comportarea structurilor pe durata cutremurelor. Precizarea acestor mișcări este o problemă deosebit de dificilă datorită complexității condițiilor geologice și geotehnice. Fără date exacte, calculele efectuate de inginerii proiectanți de structuri se vor baza numai pe ipoteze.

Comportarea terenurilor sub încărcări dinamice poate prezenta aspecte foarte diferite față de comportarea la încărcare statică. Unele terenuri sub încărcări ciclice își sporesc rezistența prin compactare (de exemplu nisipurile afânate), altele își pot pierde rezistența (nisipurile saturate sau argilele sensibile). Compactarea dinamică a terenurilor depinde de mărimea deformațiilor cauzate de durata și frecvența procesului.

Undele seismice generate de energia eliberată în focar se transmit prin mediul de propagare în urma unor fenomene extrem de complexe de reflexie și refracție, datorate neomogenității și discontinuității straturilor pe care le traversează. În vecinătatea suprafeței libere a terenului, la contactul cu roca de bază a depozitului sedimentar superficial, direcția de propagare a undei refractată este aproape verticală. Vitezele de propagare ale undelor elastice descresc din focar către suprafața liberă, iar intensitatea mișcării se atenuază cu distanța epicentrală. În general componenta verticală a mișcării seismice este mai puțin decât cea orizontală, deși proprietățile terenului se modifică mai pronunțat în direcția verticală.

Importanța pământurilor din jurul fundațiilor construcțiilor este foarte mare în cazul acțiunilor seismice, deoarece prin aceasta se transmit încărcările dinamice cu ponderea cea mai mare, care de obicei dimensionează construcția. Proprietățile dinamice și seismice ale terenurilor de fundare și în special rigiditatea lor seismică, proiectează mișcarea seismică în amplasament, acest efect al amplasamentului reflectându-se în coeficienții de teren „S”, care sunt în funcție de proprietățile și structurile geologice ale amplasamentului avut în considerare. Valoarea coeficientului  $\beta$  din expresia încărcărilor seismice depinde de rigiditatea terenului (normală, redusă sau mărită).

Studii referitoare la comportarea construcțiilor în timpul cutremurelor, în funcție de natura terenului de fundare urmăresc, următoarele aspecte :

- în ce grad influențează proprietățile fizico-mecanice ale terenului intensitatea locală a mișcării terenului;
- care sunt terenurile supuse în permanență la transformări fizice în timpul trecerii undelor seismice și cum afectează aceste transformări structurile care sunt fondate pe ele;
- ce influență au proprietățile terenurilor asupra comportării structurilor care interacționează cu terenul în timpul unui cutremur.

### 3.2. INFLUENȚA TERENULUI ASUPRA MIȘCĂRII SEISMICE

Este bine cunoscut că obținerea unor mărimi exacte ale acțiunilor seismice este greu de realizat, datorită manifestărilor foarte aleatoare ale fiecărui cutremur în parte. Dar, prin examinarea factorilor care influențează mișcarea pământului pot fi obținute informații suficient de clare pentru practica inginerescă.

Condițiile geologice locale, caracteristice unui anumit amplasament, au o influență decisivă asupra modificării efectelor seismice, caracterizate prin următorii factorii principali:

- factori de sursă, intensitatea mișcării seismice, care se manifestă la suprafața liberă, exprimată prin deplasări, viteze și accelerații maxime;
- propagarea undelor seismice, conținutul de frecvențe și componentele dominante definite de compoziția spectrală a mișcării înregistrate;
- durata semnificativă a evenimentului seismic;
- factori locali de amplasament, configurația globală a variației mișcării în funcție de natura filtrării dinamice a undelor propagate;
- interacțiunea teren - structură, focalizarea efectelor seismice care se manifestă la suprafața liberă a terenului;

Cel mai important aspect legat de influența condițiilor geologice locale îl reprezintă compoziția spectrală a mișcării seismice, care pune în evidență atât modificările survenite în factorii descriși mai sus, cât și mecanismul de focar al cutremurului, în corelare directă cu magnitudinea cutremurului.

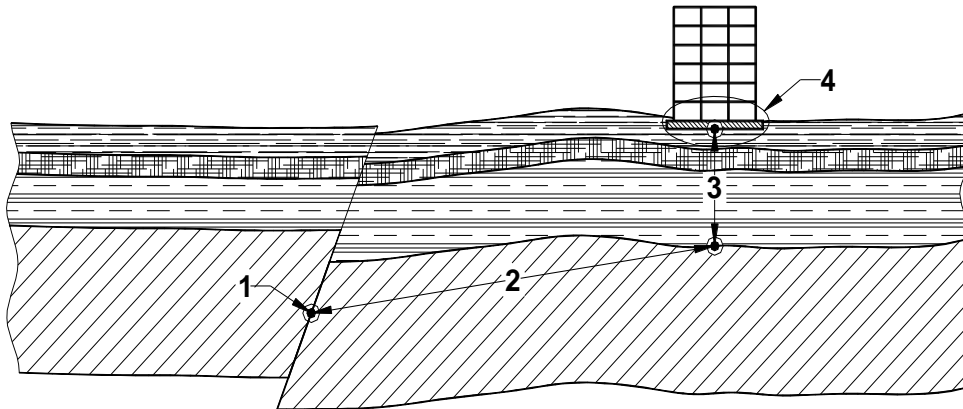


Fig. 3.1. Principalii factorii ce caracterizează mișcarea seismică într-un amplasament (1 - factori de sursă; 2 - efectul propagării undelor seismice; 3 - factorii de amplasament; 4 - interacțiunea teren - structură)

Marea majoritate a cutremurelor de pământ se datorează activităților tectonice. Există trei regimuri tectonice general recunoscute (Oros, 2002, Stewart și colab., 2001):

- marginile active ale plăcilor tectonice (seisme inter-placă)
- interiorul plăcilor tectonice (seisme intra-placă)
- rifturile oceanice

Factorii de sursă includ:

- tipul de regim tectonic:
  - o mecanismele inter-placă, care se produc prin mișcare bruscă la interfața a două plăci adiacente, fiind cele mai frecvente în natură. Ele se pot produce atât la adâncime cât și la suprafață. Sunt caracterizate de accelerații mari, perioade lungi (circa 60 sec.), afectează zone foarte întinse, manifestându-se pe raze de sute de kilometri, funcție de condițiile terenului pe care le traversează undele. Deoarece frecvențele înalte ale mișcărilor terenului se amortizează mult mai repede decât frecvențele joase, la amplasamentele departe de sursă predomina perioadele lungi, la cele apropiate sunt caracteristice perioadele scurte.

Cutremurele de pământ generate pe marginile active ale plăcilor tectonice (seisme inter-placă) sunt capabile să producă evenimente seismice de magnitudine importantă, caracterizate prin accelerații ale terenului mari, durate ale mișcării mari și intensități care pot afecta zone extinse (sute de km). Deoarece frecvențele ridicate sunt atenuate mai rapid cu distanța decât frecvențele mici, un cutremur îndepărtat (far-field) va conține mai multă energie în domeniul frecvențelor mici. În consecință, cutremurele mari, îndepărtate, pot avea efecte mai devastatoare asupra structurilor cu perioade de vibrație mari, decât seismele mai mici, locale (near-field). Exemple de surse seismice inter-placă sunt cele din California (SUA), Japonia, Turcia și România (zona seismică subcrustală Vrancea). Cele mai cunoscute cutremure de acest tip sunt cele din California, S.U.A., cele japoneze și neozelandeze; cutremurele vrâncene se încadrează de asemenea în acest tip de mișcare.

- o mecanismele intra-placă, care se produc în faliile din interiorul aceleiași plăci tectonice. Ele se caracterizează prin lunecări mai reduse decât la seismele inter-plăci, din cauză că faliile sunt mai scurte. Magnitudinile sunt mai mici, dar pot fi distructive, perioadele de revenire mai scurte, duratele mai mici și aria de influență mai redusă, iar mișcarea, datorită perioadelor mai scurte este caracterizată de un număr redus de vârfuri de accelerație; de aceea aceste mișcări sunt legate de seismele aproape de sursă. Cutremure de acest tip se produc în zonele estice ale S.U.A., în Canada, majoritatea seismelor europene (exceptând unele surse din România și Grecia), Australia, Egipt, Iran, India, China; seismele bănățene se încadrează în acest tip de mișcare.

Spre deosebire de cutremurele inter-placă, cele intra-placă se datorează faliilor geologice din interiorul unor plăci tectonice. Aceste falii sunt în general mai mici decât cele asociate marginilor plăcilor tectonice, rezultând cutremure cu magnitudini, frecvențe, durate și zone afectate mai mici. Astfel, hazardul seismic într-un amplasament afectat de seisme intra-placă este în general asociat unor evenimente locale de magnitudine medie (Chandler și colab., 1992). Cutremure de tip intra-placă sunt prezente în Australia, partea estică a Americii de Nord, Europa, Banat etc.

În mod simplificat, diferențele dintre caracteristicile cutremurelor inter-placă și intra-placă se rezumă la diferențele dintre cutremure cu magnitudini mari, respec-

tiv mijlocii. Diferențele dintre cutremurele cu magnitudini mari (cu magnitudinea undelor de suprafață  $M_S > 5.5$ ) și a celor de magnitudine mijlocie ( $M_S \leq 5.5$ ) pot fi urmărite pe baza spectrelor de răspuns normalizate specificate în norma europeană Eurocode 8, 2003 (vezi figura 3.2, pentru clasa B de teren). Astfel, cutremurele îndepărtate de magnitudine mare (tip1) sunt caracterizate de amplitudini spectrale mai mici în domeniul perioadelor scurte (zona spectrală de accelerație constantă) și mai mari în domeniul perioadelor medii și lungi, în comparație cu cele locale de magnitudine mică și mijlocie (tip2). Aceasta este echivalent cu a spune că un seism de tip 1 are un conținut mai bogat de energie în domeniul perioadelor lungi (frecvențelor mici).

Normativul actual de proiectate antiseismică românesc, face la rândul său distincția între cutremure subcrustale din sursa Vrancea și cele crustale din Banat. Totuși, această diferență se rezumă doar la recunoașterea unei amplificări mai mari a mișcării seismice în domeniul perioadelor scurte ( $T \leq T_C$ ), perioada de colț  $T_C$  fiind independentă de tipul sursei seismice.

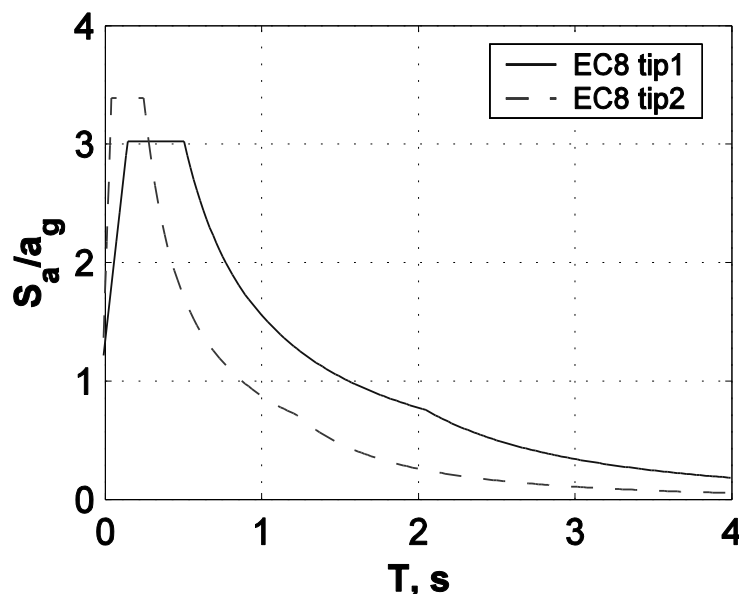


Fig. 3.2. Spectre elastice normalizate în format EC8 pentru cutremure tip1 ( $M_S > 5.5$ ) și tip2 ( $M_S \leq 5.5$ ), pentru condiții de teren tip B

În ce privește adâncimea focarului s-a constatat că cele mai frecvente evenimente din Europa și zonele adiacente se încadrează între 0 și 20 de kilometri, fiind cutremure de suprafață. Clasificarea cutremurelor, în funcție de adâncimea focarului, este următoarea:

- |                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| - cutremure de suprafață: | 0 – 25 km;      |
| - cutremure crustale:     | până la 70 km;  |
| - cutremure intermediare: | până la 300 km; |
| - cutremure de adâncime:  | peste 300 km;   |

Încadrarea cutremurelor în unul din aceste tipuri este foarte importantă, deoarece cutremurele intermediare și de adâncime pot produce pagube importante în regiuni situate la mare distanță față de epicentru. În schimb, efectul cutremurelor de suprafață și a celor crustale este limitat la distanțe mici în jurul epicentrului. În general, în cazul acestor cutremure avariile importante ale structurilor se concentrează pe direcția perpendiculară a liniei de falie.

Magnitudinea cutremurului, aceasta este o măsură a energiei eliberate de un cutremur, fiind unică pentru un eveniment seismic; se bazează pe măsurători instrumentate și astfel nu este influențată de subiectivism (vezi definiție intensitate seismică); conform standardului International Building Code, acesta propune o clasificare a surselor în raport cu magnitudinea, după cum urmează:

- o tip A: falii capabile de a produce magnitudini mari  $M \geq 7.0$  și cu frecvență mare a activității seismice;
- o tip B: toate faliile cu magnitudine între valorile  $6.5 \leq M < 7.0$ ;
- o tip C: falii, care nu produc cutremure de magnitudine  $M < 6.5$  și a căror frecvență este rară;

Seismicitatea unei surse seismice este caracterizată de lungimea (sau aria) suprafeței de rupere, probabilitatea producerii unor cutremure de anumite magnitudini și rata de lunecare. Modelele surselor seismice se determină pentru un interval de magnitudini cuprins între o valoare minimă  $M_{w,0}$  (deseori stabilită în mod arbitrar la 5) și una maximă credibilă,  $M_{w,max}$ . Magnitudinile cutremurelor corespunzătoare unor intervale medii de recurență diferite sunt prezentate în tabelul 3.1, pentru sursa seismică Vrancea, în tabelul 3.2 sunt prezentate magnitudini ale cutremurelor din Banat pentru diferite intervale medii de recurență.

Tabelul 3.1

$\bar{T}(\geq M_w)$	$M_w$
50	7.3
100	7.6
475	7.9
2475	8.1

Tabelul 3.2

Magnitudini ale cutremurelor din Banat

Sursa seismică	50 ani	100 ani	475 ani
Banat(ambele surse)	5.4	5.6	6
Timișoara	5.3	5.6	6
Moldova Nouă	4.8	5.2	5.8

Tipul faliei influențează modelul de radiație al sursei seismice, așa cum o arată unele rezultate teoretice. De exemplu, amplitudinile vârfurilor deplasării și accelerației terenului, calculate pentru falii inverse și normale, cresc cu un factor de 2,5 și respectiv 3,3, comparativ cu faliile transcurente, în același timp cu creșterea ponderilor undelor transversale S. În plus, energia undelor P este mai mare pentru faliile transcurente.

În cazul cutremurelor locale (near – field), cu distanțe la falie de până la 20 – 60 km, azimutul amplasamentului față de focar afectează considerabil caracteristicile mișcării seismice. Efectul de directivitate înainte (forward directivity)

se producând rupura unei falii se propagă înspre amplasament și lunecarea are loc de asemenea înspre amplasament. Deoarece viteza de rupere este apropiată de cea a undelor seismice de forfecare (S), are loc o acumulare de energie în apropierea frontului de rupere. Mișcarea seismică într-un astfel de amplasament ajunge sub forma unui puls al mișcării (efectul undei de șoc), caracterizată de amplitudini mari în domeniul perioadelor medii și lungi, și de durată mică. Acest fenomen are loc pentru componenta undei seismice normală pe falie. În cazul în care amplasamentul se află în apropiere de epicentru, adică atunci când frontul de rupere se propagă de la amplasament, sosirea undelor seismice are loc distribuit în timp. Acest fenomen poartă numele de directivitate înapoi (backward directivity), și este caracterizat de amplitudini relativ reduse și durate mai lungi ale mișcării seismice.

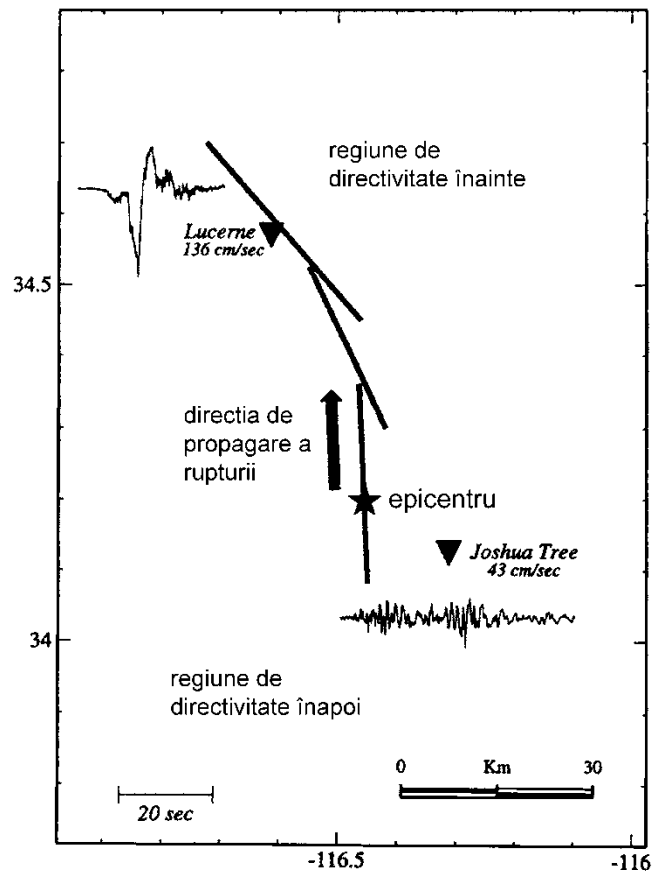


Fig. 3.3. Efectele fenomenului de directivitate asupra înregistrărilor vitezei terenului

Efectele directivității înainte (un puls cu perioadă mare și durată redusă a accelerogramei) și înapoi (o mișcare complexă de amplitudine mică și durată mai mare) asupra înregistrărilor vitezei terenului sunt prezentate în figura 3.3 pentru cutremurul Landers, California, din 1992.

Fenomenul de directivitate poate fi observat atât în cazul faliilor transcurente, cât și a celor verticale (normale și inverse). În ambele cazuri, pulsul

de mișcare cauzat de directivitatea înainte este orientat perpendicular pe falie. Un alt fenomen legat de cutremurele locale este deplasarea permanentă a terenului care se produce în urma falierii, și care este orientată paralel cu falia în cazul faliilor transcurente și perpendicular pe falie la cele verticale. Aceasta conduce la două tipuri distincte de pulsuri ale deplasării în direcțiile perpendiculară, respectiv paralelă, schematizate în figura 3.4. pentru faliile transcurente.

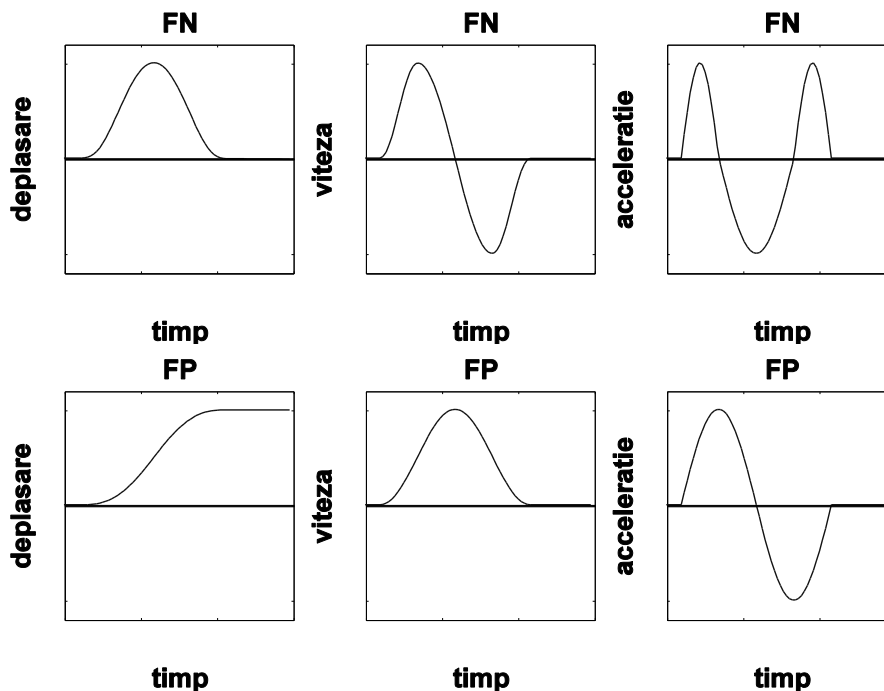


Fig. 3.4. Reprezentare schematică a componentelor normale (FN) și paralele (FP) pe falie, în cazul faliilor transcurente.

Factorii de propagare:

- propagarea energiei emise de o sursă seismică are loc prin intermediul undelor de volum (P și S), care pot fi directe, reflectate și refractate, și a undelor de suprafață (Rayleigh și Love). Înregistrarea efectuată într-un amplasament dat depinde de adâncimea focarului, distanța sursă receptor și structura geologică dintre acestea și este afectată de reflexiile și refracțiile multiple, difracțiile și interferențele diferitelor tipuri de unde, împrăștierea, disiparea și dispersarea undelor seismice. Odată cu creșterea distanței dintre sursă și amplasament intensitatea mișcării seismice scade, iar durata acesteia crește. Componenta verticală a mișcării seismice scade cu distanța și de cele mai multe ori poate fi neglijată în calcul pentru cutremurele îndepărtate, dar poate fi importantă în cazul cutremurelor locale.
- Evaluarea hazardului seismic într-un amplasament se obține prin stabilirea unei relații între o măsură a intensității mișcării (IM) și mărimea (m), respectiv distanța dintre sursă și amplasament (r). Aceste relații de *atenuare* sunt în general log-normale și sunt derivate prin regresia datelor



- empirice. Cele mai folosite măsuri ale intensității sunt accelerația maximă a terenului (PGA) și accelerația spectrală (SA) la perioade fixe. Funcțiile de atenuare au în general forma:

$$\ln IM = c_1 + c_2 \cdot m + c_3 \cdot m^{c_4} + c_5 \cdot \ln r + f(F) + f(HW) + f(S) \quad (3.1)$$

- unde  $c_1 \dots c_5$  sunt constante stabilite prin regresie,  $F$  este un factor funcție de mecanismul de rupere al sursei seismice,  $HW$  este un factor pentru faliiile verticale, iar  $S$  este un factor de amplasament. În general,  $\ln IM$  este direct proporțional cu magnitudinea  $m$ , dar aceasta proporționalitate poate să nu mai fie valabilă pentru PGA la magnitudini mari. Dispersia undelor seismice cu distanța le reduce amplitudinea cu  $1/r$ , de aceea factorul  $c_5$  este apropiat de -1. Mecanismul focal transcurent este considerat de obicei "de referință" și nu necesită o corecție. Observațiile efectuate asupra unor cutremure cu mecanism de tip invers indică mișcări seismice mai mari decât cele generate de mecanismele transcurente, de care se ține cont prin factorul  $f(F)$ .

Factorii de amplasament:

- mișcarea seismică reală dintr-un amplasament dat va diferi însă substanțial de cea determinată pentru roca de bază, funcție de condițiile geotehnice locale, efectele de bazin și topografie. Parametri cheie care guvernează amplificarea sau neamplificarea mișcării terenului sunt: grosimea, modulul de elasticitate, amortizarea și viteza undelor de forfecare a stratului de teren moale, impedanța teren/rocă, stratificarea și proprietățile stratului de teren de la interfața între terenul moale și roca de bază. Influența tipului de teren asupra formei spectrului de răspuns al pseudo-accelerației este prezentată în Figura 3.5, conform unor studii statistice efectuate de către Seed și colab. pe un set de 104 accelerograme înregistrate în SUA, Japonia și Turcia. Pe baza acestor rezultate pot fi evidențiate două aspecte ale influenței terenului asupra spectrului de răspuns:
  - o în raport cu roca de bază, terenurile rigide și cele necoezive sunt caracterizate de o amplificare mai mare a accelerației de vârf a terenului (pseudoaccelerații mai mari în zona de pseudoaccelerație constantă), cât și de o creștere moderată a perioadei de colț  $T_c$ .
  - o în raport cu roca de bază, terenurile moi sunt caracterizate de o amplificare redusă a accelerației de vârf a terenului, dar de o creștere substanțială a perioadei de colț  $T_c$ , ceea ce echivalează cu ordonate spectrale ridicate pentru structuri cu perioade proprie de vibrație  $T_n > 0,5$  sec.

În cele mai multe cazuri amplificarea maximă a răspunsului are loc la perioade apropiate de perioada predominantă de vibrație a stratului de teren moale.

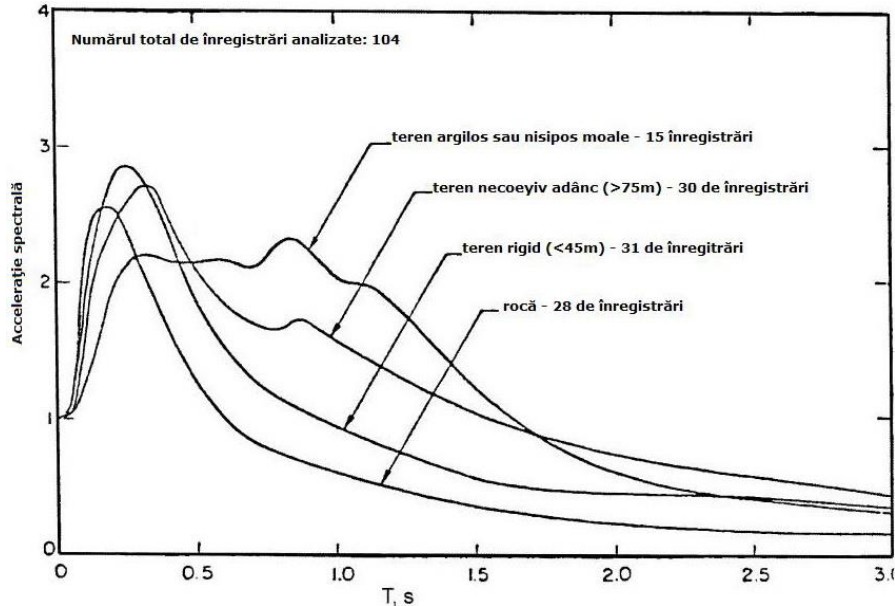


Fig. 3.5. Spectre normalizate ale accelerației pentru diferite tipuri de teren

În cazul multor cutremure, geologia locală și condițiile de amplasament au avut o influență hotărâtoare asupra răspunsului seismic. Factorii de natură locală provin din:

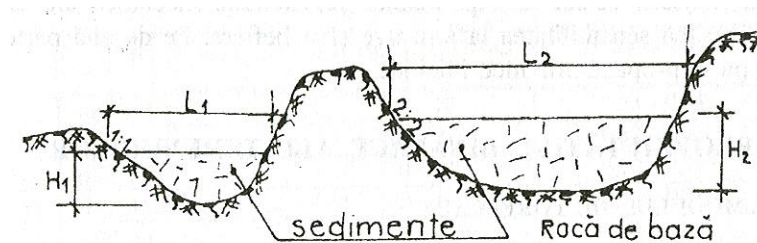


Fig. 3.6. Elementele de depozitare sedimentară care influențează răspunsul seismic al amplasamentului

a. Topografia rocii de bază. Prin roca de bază se înțelege acea zonă alcătuită din strate granitice sau bazaltice care vibrează cu caracteristici relativ constante pe o arie întinsă. Ea are valori ridicate pentru densitate, modul de elasticitate și viteza undelor seismice.

Topografia diferită a rocii de bază explică configurația diferită a spectrelor aceluiși cutremur în amplasamente învecinate. Topografia rocii de bază are efecte diferite asupra undelor seismice cum ar fi focalizarea sau împrăștierea undelor seismice. Numeroase sunt cazurile în care energia seismică s-a propagat preferențial pe anumite direcții.

Astfel, cutremurul mexican (1986) a afectat distructiv numai o zonă a capitalei mexicane. Cutremurul vrâncean (1977) s-a manifestat sever la Craiova de-a lungul șoselei naționale București – Turnu Severin. Cutremurul bănățean (1991),

cu epicentrul lângă localitatea Voiteni, s-a simțit la Timișoara (35 km), dar a lăsat fără avarii localitatea Jebel (8 km) situată între ele.

b. Configurația pachetului de sedimente. Cu cât suprafața depozitelor  $L_1$  și  $L_2$  este mai mare, cu atât mai mare este probabilitatea ca depunerile să fie eterogene și cu proprietăți foarte diferite (densitate, consistență, grad de îndesare etc.). Adâncimea depunerilor  $H_1$ ,  $H_2$  peste roca de bază afectează răspunsul seismic întrucât perioada proprie de oscilație a terenului crește proporțional cu grosimea pachetului.

S-a constatat că un cutremur are efecte maxime asupra construcțiilor a căror perioadă proprie fundamentală se apropie de aceea a terenului.

Configurația spectrelor cutremurelor californiene cu focare de adâncime mică, arată o amplificare maximă a accelerațiilor în zona perioadelor mici. Spectrul accelerației cutremurului vrâncean de la 4 martie 1977 pentru București, calculat după accelerograma de la INCERC, arată o amplificare în vecinătatea perioadei 1,5 sec. Acest fapt poate fi în directă legătură cu adâncimea mare până la roca de bază în zona de înregistrare a seismului de circa 1000 m și cu adâncimea medie a focarului, circa 110 – 140 km.

c. Nivelul apei freactice, reprezintă un factor hotărâtor în propagarea mișcării seismice. Apa reduce rezistențele mecanice ale terenurilor făcând să crească sensibilitatea la lunecare și lichiefiere. Pe de altă parte, undele secundare nu se propagă prin medii lichide.

### 3.3. Interacțiunea teren de fundare – structură

O mare parte din efectele unui amplasament asupra caracteristicilor mișcării seismice pot fi explicate prin răspunsul dinamic al straturilor superficiale de teren.

Mișcarea seismică afectată de factorii de sursă, de propagare și de amplasament reprezintă așa numita mișcare în câmp liber. Răspunsul unei structuri la o mișcare seismică de tip câmp liber este afectată de interacțiunea terenului de fundare și structură. În esență, acest fenomen modifică atât proprietățile dinamice ale structurii, cât și caracteristicile mișcării seismice la nivelul fundației. Cauza fenomenului este constituită de flexibilitatea terenului sub acțiunea unei excitații dinamice. Pentru structuri amplasate pe terenuri deformabile, mișcarea seismică la nivelul fundației este în general diferită de cea în câmp liber, conținând o importantă componentă de rotire, pe lângă componenta de translație. Componenta de rotire și interacțiunea teren-structură în general, au efecte importante pentru structurile rigide situate pe terenuri flexibile.

Un alt efect al fenomenului de interacțiune teren – structură îl reprezintă disiparea energiei de vibrație către mediul de fundare, prin radiația undelor și răspunsul neliniar al terenului. Astfel, pot fi distinse două mecanisme de interacțiune între structură, fundație și teren:

- interacțiunea inerțială: inerția dezvoltată în structură din cauză oscilațiilor creează forța tăietoare și momentul la bază, care la rândul lor generează deplasări ale fundației față de terenul liber. Interacțiunea inerțială are ca efect creșterea perioadei proprii de vibrație a structurii din cauza flexibilității terenului de fundare și o modificare (de obicei creștere) a amortizării terenului, din cauza disipării energiei prin radiație și răspuns neliniar al terenului.

- interacțiunea cinematică: prezența elementelor rigide ale fundației pe, sau în teren duce la modificarea mișcării de la cea din câmpul liber, ca și rezultat al incoerenței mișcării seismice sau înglobării fundației. Interacțiunea cinematică are ca efect

reducerea componentei de translație a mișcării, dar o creștere a celor de torsiune și rotire, precum și filtrarea frecvențelor înalte ale mișcării seismice. Pentru structurile obișnuite interacțiunea inerțială are efectele cele mai pronunțate asupra ansamblului teren-structură. În cazul unor sisteme cu un singur grad de libertate dinamică efectele interacțiunii teren-structură pot fi evaluate folosind un sistem echivalent cu perioada și coeficientul de amortizare modificate, pentru a ține cont de prinderea flexibilă în fundație și amortizarea terenului de fundare.

Comportarea unei construcții în timpul unui cutremur este influențată de interacțiunea dintre aceasta și terenul de fundație. Fenomenul de interacțiune teren – construcție este foarte complex, deoarece sunt puse în interacțiune două – trei corpuri cu proprietăți diferite: suprastructura, infrastructura și terenul de fundare (bulbul aferent de pământ – zona activă), după natura rezemării structurii pe terenul de fundare, prezentată în figura 3.7.

Comportarea structurii depinde de natura terenului suport, iar reacția terenului este modificată de prezența structurii. Există o diferență netă între mișcarea bazei construcției și mișcarea liberă a terenului care s-ar produce în absența construcției. Prezența construcției în teren va influența de asemenea amplificarea mișcării vibratorii amplasamentului respectiv.

Pentru structurile obișnuite interacțiunea inerțială are efectele cele mai pronunțate asupra ansamblului teren-structură. În cazul unor sisteme cu un singur grad de libertate dinamică efectele interacțiunii teren-structură pot fi evaluate folosind un sistem echivalent cu perioada și coeficientul de amortizare modificate, pentru a ține cont de prinderea flexibilă în fundație și amortizarea terenului de fundare. Folosind o analiză empirică a unor înregistrări seismice în câmp liber și pe structură, factorul care afectează cel mai mult răspunsul structurii este raportul dintre rigiditatea terenului și a structurii. În plus, factori precum raportul înălțime/lățime a structurii, adâncimea de fundare și flexibilitatea fundației pot afecta considerabil răspunsul structurii.

Pe timpul mișcării seismice, în plan, deformabilitatea terenului de fundație imprimă construcției o mișcare în jurul unui centru instantaneu de rotație, de tipul mișcării plan – paralele, care se descompune într-o mișcare de translație orizontală și o mișcare de translație verticală. Efectul celor două mișcări trebuie privit prin prisma rigidității construcției și a rezistenței terenului de fundații. Construcția capătă o mișcare accelerată producându-se forțe de inerție, a căror mărime este determinată în funcție de mărimea maselor construcției în principal. La contactul dintre construcție și teren se produc deformații, care se modifică în timpul acțiunii seismice. La o construcție rigidă, masa inerțială se deplasează împreună cu baza de rezemare. La o construcție elastică, baza se mișcă o dată cu terenul, masa inerțială având tendința rămânerii în urma. Dacă terenul din jurul clădirii este slab, iar clădirea este rigidă, apar deformații ale terenului în jurul construcției.

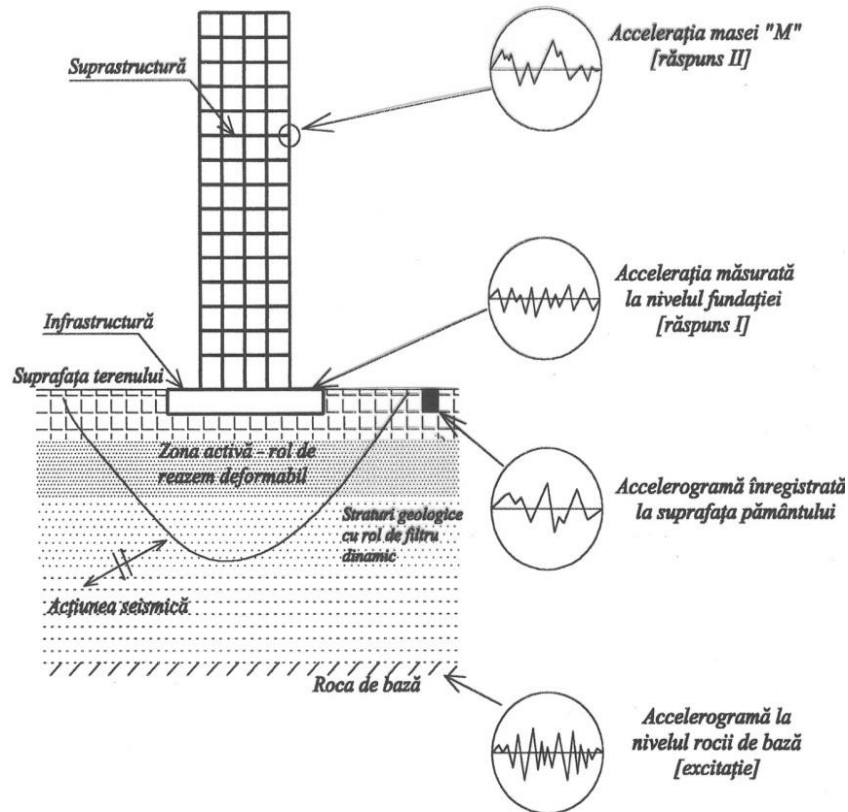


Fig. 3.7. Zona activă în interacțiunea teren – construcție

Deci, pe timpul unui cutremur, va fi o mare diferență între mărimea forței necesare să deplaseze baza unei construcții rigide față de aceea a unei construcții elastice. Mișcarea de balansare are efecte ușor de intuit în sporirea perioadei de oscilație, în creșterea deplasărilor la partea superioară a construcției și majorarea forțelor de inerție. Încărcări gravitaționale centrice, pe timpul cutremurului, pot deveni excentrice cauzând momente încovoietoare și momente de răsturnare.

Pe baza observațiilor efectuate asupra unei construcții amplasate pe un strat de pământ omogen, sub care se găsește un strat de rocă, s-a constatat că mișcarea undelor la suprafața liberă a pământului, diferă de mișcarea undelor seismice prin stratul de rocă. Prezența construcției pe suprafața terenului influențează mișcarea undelor.

Înregistrările microseismelor confirmă diferența existentă între deplasările la suprafața pământului și în vârful unei construcții cu  $(P + 4E)$ .

Efectele interacțiunii teren – structură se pot aprecia de asemenea, ca diferența dintre răspunsul structurii în ipoteza identității mișcării seismice de la baza structurii cu mișcarea seismică din câmp liber și răspunsul structurii considerând mișcarea reală, modificată de la baza structurii. Efectul general poate fi o atenuare sau o amplificare a răspunsului seismic al structurii și depinde de

proprietățile structurii și ale terenului de fundare, ca și de caracteristicile excitației seismice.

Modificarea răspunsului seismic al unei structuri situate pe un teren deformabil, în comparație cu răspunsul unei structuri situate pe un teren rigid, se datorează pe de o parte modificării perioadelor (frecvențelor) proprii de vibrație ale structurii, în funcție de factorii menționați mai înainte, iar pe de altă parte disipării unei părți din energia excitației seismice prin amortizarea histeretică și prin radiația undelor seismice în terenul de fundație. Importanța amortizării histeretice crește odată cu creșterea intensității excitației seismice. În cazul structurilor amplasate pe terenuri rigide, amortizarea prin radiație devine neglijabilă.

Efectele interacțiunii teren de fundație – structură nu trebuie confundate cu așa numitul efect de amplasament (ale condițiilor locale), care determină mișcarea în câmp liber indusă de un cutremur dat într-un amplasament dat, funcție de proprietățile mecanice – seismice ale subsolului amplasamentului (roci; straturi geologice; pământuri – terenuri de fundație), adică de condițiile geologice – geotehnice locale. Astfel, mișcarea la suprafața liberă a terenului de fundație diferă pentru diferite amplasamente în funcție de condițiile locale de teren, constatându-se perioade predominante diferite. În cazul interacțiuni teren de fundare – structură are loc distorsiunea mișcării seismice la baza structurii (eventual și la suprafața liberă a amplasamentului în vecinătatea structurii) din cauza prezenței structurii, aceasta datorată interferențelor intime dintre proprietățile terenului de fundare și caracteristicile structurii. Astfel, pământurile supuse la vibrații își modifică capacitatea lor de rezistență, în general, având loc uneori diminuarea capacității lor de rezistență; vibrațiile construcțiilor și ale lichidelor conținute în unele structuri, contribuind la vibrațiile pământurilor.

Importanța naturii terenului de fundare pentru răspunsul seismic al construcțiilor a fost reliefată de multe cutremure. Terenul influențează comportarea construcțiilor la acțiunea seismică prin :

1. amplificarea sau diminuarea amplitudinilor mișcării vibratorii de la fundațiile construcției; în terenuri afânate, mișcarea seismică se amplifică, pe când terenurile compacte, filtrează armonicele de perioadă mică.
2. modificarea caracteristicilor dinamice - perioada, vectori proprii.
3. disiparea energiei seismice prin amortizarea internă a terenului și de radiație a fundațiilor.

Între avariile cauzate la construcții și rigiditatea terenului, se pot face următoarele legături. În terenurile tari, cauza esențială a avariilor o constituie forțele de inerție, în terenuri slabe, rolul hotărâtor îl au tasările inegale. Pe un teren slab, o clădire rigidă se avariază numai dacă are dimensiuni mari în plan. Clădirile elastice se avariază datorită forțelor de inerție mari. Deplasările mari ale scheletului portant nu pot fi urmărite de materialele de închidere și compartimentare, pe de o parte, iar, pe de alta, intervin solicitări suplimentare din încărcările devenite excentrice. În terenurile moi, aceste efecte sunt mult mai evidente, mai ales când perioada construcției se apropie de perioada mișcării bazei de rezemare.

Avariile înregistrate la construcții trebuie puse în corelație cu modul de a reacționa la seism al construcțiilor. Din comportarea în situ a acestora se poate concluziona că structurile rigide simt seismul sub forma socului în dominantă sa violentă pe când structurile elastice intră în oscilație la sosirea primelor unde seismice și continuă oscilația chiar și după încetarea cutremurului.

### 3.4. Modulul de forfecare

Principalele caracteristici ale terenurilor folosite în aflarea răspunsului seismic al construcțiilor sunt: modulul de forfecare, amortizarea, coeficientul Poisson și perioada oscilațiilor libere.

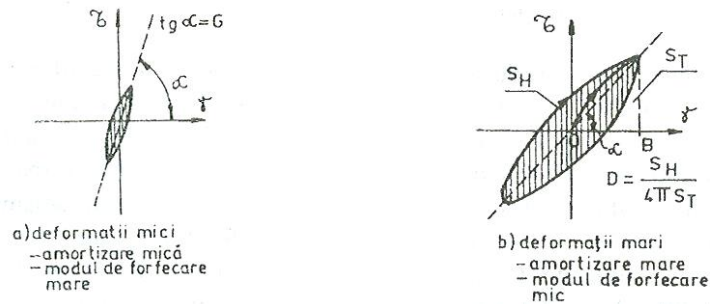


Fig. 3.8. Definierea modulului de deformare

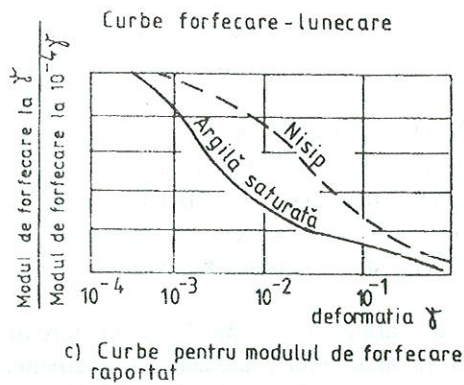


Fig. 3.9. Definierea modulului de deformare

Pentru deformări mici, modulul de forfecare al terenului poate fi luat drept principala pantă a curbei caracteristice de forfecare  $\sigma - \gamma$ . La deformări mari, curba tensiune - deformație specifică devine puternic neliniară, astfel că modulul de forfecare nu este constant. Întrucât mișcarea seismică este o mișcare vibratorie, ne interesează curba caracteristică  $\sigma - \gamma$ , în alura histeretică. Pentru aflarea modulului de forfecare se apelează la teoria elasticității în conformitate cu care  $G = E/2(1 + \mu)$ . Dar modulul de elasticitate longitudinală  $E$ , variază între limite foarte largi, cum se arată în tabelul 3.3.

Metodele de laborator fac posibilă determinarea modulului de forfecare din încercare de compresiune triaxială și încercarea de rezonanță. Cele două încercări se completează reciproc. Încercarea triaxială cu deformări mari determină o valoare a modulului de forfecare. Încercarea de rezonanță cu deformări mici conduce la altă valoare. De aceea ele trebuie efectuate pentru o valoare medie realistă a modulului. La șantier, se determină viteza undelor de forfecare  $V_s$ . În sondajele practicate în teren se introduce o sursă de vibrații respectiv un traductor. Ultimul

este inserat într-un lanț de înregistrare cinematică. Cunoscând distanța dintre foraje și succesiunea undelor înregistrate, se calculează viteza undelor de forfecare.

Tabelul 3.3

Modulul de elasticitate longitudinal

Tipul de teren	E - val. Medie, MPa	coeficient Poisson
Nisip prăfos	7 – 70	0,33 – 0,36
Nisip afânat	15 – 50	0,32 – 0,38
Nisip dens	50 – 120	0,30 – 0,36
Nisip cu pietriș	90 – 120	0,44 – 0,47
Argilă moale	până la 15	0,44 – 0,47
Argilă tare	10 – 15	0,38 – 0,41

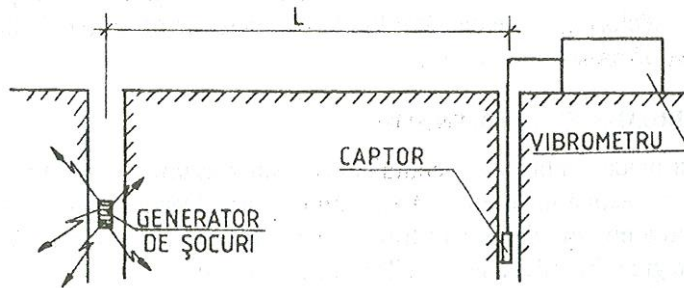


Fig. 3.10. Determinarea vitezei undelor de forfecare într-un teren

Modulul de forfecare se determină cu relația  $G = \rho \cdot V_s^2$ , unde  $\rho$  este densitatea terenului. Tabelul 3.4 indică câteva valori pentru principalele caracteristici ale unor roci.

Tabelul 3.4

Caracteristici geotehnici

Tipul de teren	Greutate volumică [kN/m <sup>3</sup> ]	Rez. admisă [MPa]	Modul de forfecare [MPa]
Argilă moale	15,7 – 19,6	0,05 – 0,1	24 – 48
Argilă compactă	19,6 – 22,8	0,19 – 0,29	73 – 100
Nisip prăfos	17 – 20	0,16 – 0,22	
Nisip afânat	14,9 – 19,6	0,14 – 0,24	37 – 37
Nisip dens	18,1 – 22	0,24 – 0,34	56 – 98
Pietriș	22,2 – 24,3	0,34 – 0,48	75 – 130
Granit	25,1 – 25,5	0,5	(3 – 3,74)10 <sup>4</sup>



### 3.5. Perioada fundamentală

Caracteristicile perioadelor predominante ale mișcării terenului în timpul evenimentelor seismice depind în principal de magnitudinea cutremurului, distanța epicentrală, configurația topologică a zonei, mecanismul de focar (în special adâncimea acestuia), precum și de condițiile geologice locale ale amplasamentului. Cu cât distanța epicentrală și durata semnificativă a mișcării seismice sunt mai mari, cu atât fenomenul seismic va fi caracterizat de componente cu frecvențe joasă, adică cu perioade predominante lungi. S-a constatat că în cazul cutremurelor normale sau intermediare puternice (de magnitudine  $M > 6,5$ ) mecanismul de focar generează perioade predominante relativ lungi ( $T_0 > 1$  s), iar în cazul cutremurelor slabe (normale) sau chiar mai puternice (superficiale), mecanismul de focar generează perioade predominante scurte ( $T_0 < 0,5$  s).

O importantă influență asupra apariției perioadelor predominante lungi o au condițiile geologice locale ale terenului, corespunzătoare amplasamentului, mai ales când depozitele sedimentare aparțin cuaternarului. Întrucât în depozitele sedimentare și aluvionare vitezele de propagare ale undelor seismice secundare sunt mai reduse, ca urmare a scăderii modulului de elasticitate transversală, perioadele predominante (în speciale cele fundamentale) rezultă mult mai ridicate. Asemenea situații, în care perioade predominante lungi au caracterizat componentele distructive ale mișcării seismice, s-au semnalat în depozitele sedimentare moi afânate.

Determinarea ei se practică prin înregistrarea microundelor care traversează terenul. Acesta pot preveni de la explozii, trafic greu, introducerea piloților sau cutremure.

Mărimea deformațiilor terenului în aceste teste este foarte mică în comparație cu deformațiile cauzate de cutremure. Se cere o extrapolare precaută a rezultatelor obținute pentru evenimentul seismic care cauzează deformații mari. În mod orientativ se pot accepta pentru perioada fundamentală valori din tabelul 6.4. Pentru perioada fundamentală a unui pachet de  $n$  straturi de grosime totală  $h_T$  perioada fundamentală se poate calcula cu formula:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{si} \frac{h_i}{h_{TOT}}; \quad T_{si} = \frac{4h_i}{RV_{si}} \quad (3.2)$$

- în care  $h_i$  este grosimea stratului  $i$ ,  $h_{TOT}$  - grosimea pachetului,  $V_{si}$  - viteza undelor de forfecare în stratul  $i$ , iar  $R = 0,67 - 0,9$  este un coeficient ce ține de seama de mărimea accelerației maxime în timpul cutremurului în amplasament

Tabelul 3.5

Perioada fundamentală a unor pământuri

Tipul de rocă	Perioadă (sec.)
Roci stâncoase, compacte, granitice, bazaltice	0,3
Depozite aluvionare, consolidate, compacte, consistente, de grosime mică	0,3 - 0,5
Depozite aluvionare, consolidate, compacte, consistente, de grosime mare	0,3 - 0,7
Depozite aluvionare slab consolidate de grosime medie	0,5 - 1
Depozite aluvionare slab consolidate de grosime mare	0,8 - 1,6
Depozite sedimentare saturate, umpluturi de grosime medie-mare	1,5 - 3,5

### 3.6. Comportarea pământurilor necoezive

Nisipurile afânate, sub acțiunea seismică se pot compacta. Asemenea compactări cauzează tasări ale depozitului nisipos și o dată cu aceasta, tasarea fundațiilor construcțiilor existente pe acest teren. De cele mai multe ori, tasările sunt inegale, ceea ce se răsfrânge prin noi distribuții ale solicitărilor în scheletul portant al construcțiilor. În activitatea de proiectare, de o importanță majoră se bucură aprecierea tendinței de tasare a depozitelor nisipoase. Din probele efectuate pe șantier, una o constituie determinarea gradului de îndesare și o alta, măsurarea rezistenței la penetrare standard. Aceste determinări au permis concluzia : nisipurile cu un grad de îndesare mai mic decât 60% sau cu o rezistență la penetrare sub 15 lovituri sunt susceptibile de tasări importante. Deci o porozitate accentuată favorizează fenomenul tasării.

Sub acțiunea unor forfecari monotone sau ciclice la pământurile necoezive, se constată pierderea totală sau parțială a rezistenței la forfecare. Presiunea apei din pori crește și depozitul de nisip trece într-un fluid mai greu decât apa, având toate proprietățile fluidelor. Fenomenul se numește lichefiere. Se disting două feluri de lichefieri:

- lichefierea propriu-zisă prin care un pământ necoeziv saturat și afânat își pierde o mare parte din rezistența la forfecare și curge ca un fluid.
- mobilitatea ciclică, care constă într-o succesiune de lichefieri intermitente cu deformații decurgeri limitate.

Aprecierea potențialului de lichefiere se face prin raportarea lui la toate determinările de laborator și de șantier ale terenurilor de fundații : gradul de îndesare, rezistența la penetrare, curba granulometrică. Tabelul 3.6 ne arată relația calitativă dintre potențialul de lichefiere și gradul de îndesare, în figura 3.11 sunt ilustrate curbele deasupra cărora este posibilă lichefierea. Sunt puse în corelație tendința de lichefiere, adâncimea, rezistența la penetrare și accelerația mișcării orizontale. La o aceeași adâncime, de exemplu 6m, lichefierea este mai anevoioasă cu cât rezistența la penetrare este mai mare. La o aceeași rezistență la penetrare, cu cât stratul se găsește mai adânc cu atât accelerația care îl lichiefiază este mai mică.

Tabelul 3.6

Potențial de lichefiere – grad de îndesare

Accelerația la suprafața terenului	Lichefiere foarte ușoara	Lichefierea depinde de mărimea seismică	Lichefierea se obține greu
0,10 g	$I_D < 33\%$	$33\% < I_D < 54\%$	$I_D > 54\%$
0,15 g	$I_D < 48\%$	$48\% < I_D < 73\%$	$I_D > 73\%$
0,20 g	$I_D < 60\%$	$60\% < I_D < 85\%$	$I_D > 85\%$
0,25 g	$I_D < 70\%$	$70\% < I_D < 92\%$	$I_D > 92\%$

Compoziția granulometrică a unui teren poate favoriza sau nu fenomenul de lichefiere. Astfel se diferențiază:

- pământuri lichifiabile: nisip, nisip fin, nisip mediu, nisip prăfos, nisip cu intercalații de pietriș, nisip cu resturi vegetale, nisipuri cu intercalații de argilă;
- pământuri nelichifiabile: pietriș, argilă, praf, lut, pământ organic, umplutură de suprafață, strat vegetal;

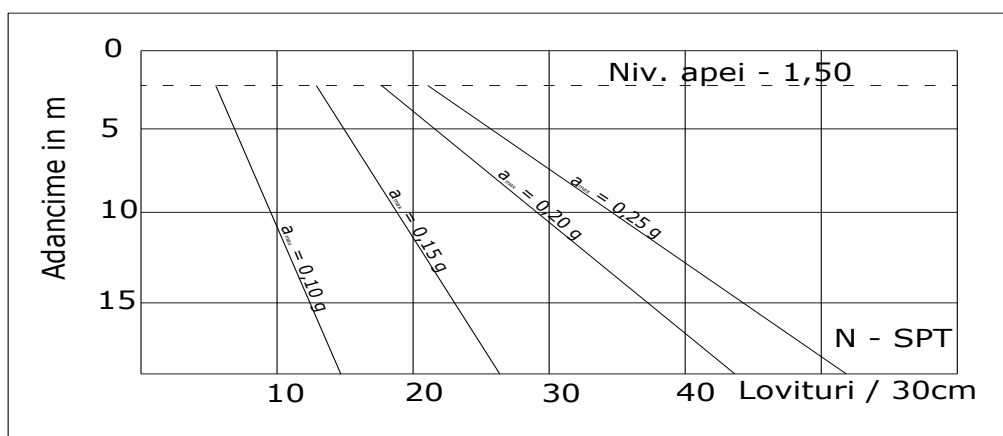


Fig. 3.11. Relația accelerație orizontală – adâncime – rezistența la penetrare și lichifiere

Forma granulelor hotărâște rezistența la forfecare. Astfel, contactul între particulele rotunjite se poate pierde mai ușor decât în cazul particulelor alungite și colțuroase. În scopul cuantificării formelor granulelor se definesc : coeficientul de rotunjime, coeficientul de sfericitate care global exprimă coeficientul de formă al particulelor. Valoarea acestuia se reflectă în gradul de îndesare, unghiul frecării interioare, coeficientul de permeabilitate. Deci valori mici ale coeficientului de rotunjime aparțin unor terenuri mai greu lichifiabile decât terenurile cu un coeficient de rotunjime mai mare.

Starea de umiditate și condițiile de drenare ale stratului pot influența apariția sau nu a fenomenului de lichifiere. Un strat de nisip, situat deasupra nivelului apei subterane, se poate lichifia în urma lichifierii zonelor inferioare ale depozitului. Lichifierea stratelor superioare se poate produce după încetarea mișcării seismice datorită curenților ascensionali de apă. Dacă presiunea în exces a apei din pori se poate disipa rapid, adică există posibilități de drenare, lichifierea nu poate avea loc. Astfel, permeabilitatea influențează fenomenul de lichifiere. Permeabilitatea poate condiționa însăși valoarea maximă a presiunii induse de mișcarea seismică. Permeabilitatea explică de ce nisipurile cu pietriș sunt greu de lichifiabile. Nisipurile care conțin pietriș sunt mai greu lichifiabile decât cele fără pietriș, iar un procent mai mare de 50% pietriș face lichifierea improbabilă.

Prin poziția pe care o ocupă stratul lichifiabil în masiv, poate favoriza sau nu fenomenul lichifierii. Astfel, un masiv taluzat, versant natural, baraj, depozit de deșeuri industriale prin lichifiere ciclică poate ceda sub forma unei alunecări sau

curgeri noroioase. La depozitele cu suprafața orizontală solicitate ciclic, sensibilitatea la lichefiere scade o dată cu creșterea eforturilor efective, deci cu adâncimea.

Potențialul de lichefiere se estimează prin factorul de siguranța împotriva lichefierii,  $F_L$ , exprimat de raportul:

$$F_L = R/L \quad (3.3)$$

unde  $R$  este raportul dinamic al rezistenței la forfecare, iar  $L$  este raportul tensiunii de forfecare pe durata unui cutremur. Primul factor este dat de relația :

$$R = c_w \cdot R_L \quad (3.4)$$

cu coeficientul corectiv pentru caracteristica mișcării terenului  $c_w$  având valorile 1 pentru tipul de mișcare I și 1, 2 pentru tipul de mișcare II.  $R_L$  este raportul rezistenței ciclice triaxiale. Acest factor este determinat prin teste de laborator pe probe nederanjate luate din teren prin metoda înghețării.

Raportul tensiunii de forfecare pe durata unui cutremur poate exprimat prin:

$$L = \frac{r_d \cdot k_{hc} \cdot \sigma_v}{\sigma'_v} \quad (3.5)$$

unde:  $r_d$  - factorul modificării cu adâncimea raportului tensiunilor de forfecare

$k_{hc}$  - coeficientul seismic de proiectare considerat la evaluarea potențialului de lichefiere

$\sigma_v$  - presiunea din încărcarea totală

$\sigma'_v$  - presiunea efectivă din încărcare

## **4. CONSIDERAȚII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT – TIMIȘOARA**

### **4.1. Introducere**

În ultimele decade, comunitățile umane au cunoscut o mare și rapidă expansiune. Au apărut orașe mari și zone industriale iar acestea au o dezvoltare continuă. Construcțiile speciale (centrale nucleare, baraje mari etc.) există în tot mai multe locuri din lume.

Toate acestea constituie factori de risc suplimentari în zonele active din punct de vedere seismic. Ca o consecință, seismologii și specialiștii în inginerie seismică au elaborat mai multe și complexe metode pentru evaluarea hazardului seismic, în vederea eliminării sau diminuării riscului seismic și a efectelor cutremurelor de pământ.

În esență, hazardul seismic este probabilitatea de producere a unui cutremur de anumită mărime, într-un anumit timp și loc. Hazardul seismic pentru proiectarea construcțiilor este descris de valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului  $a_g$ , determinată pentru intervalul mediu de recurență de referință corespunzător stării limită ultime.

Conform normativului P100-1/2006, teritoriul României este împărțit în zone de hazard seismic, acest nivel de hazard seismic al zonei se consideră, simplificat, a fi constant.

Hazardul natural reprezintă amenințarea cauzată de fenomene naturale potențiale care pot produce pierderi de vieți omenești și pierderi economice și care pot avea consecințe negative asupra societății.

Hazardul se cuantifica prin probabilitatea ca anumiți parametri care caracterizează un fenomen să fie depășiți într-un amplasament dat și într-un interval de timp dat. Hazardul nu se referă la consecințele fenomenului (distrugerii, victime, pierderi economice), el este cauza consecințelor. Pierderile sunt cuantificate prin risc.

Riscul exprimă posibilitatea de a avea pierderi de vieți omenești și economice. Riscul se cuantifică prin probabilitatea ca într-un amplasament dat și într-un interval de timp dat, pierderile să depășească un anumit nivel. Adeseori termenul de hazard este întrebuințat eronat. Un exemplu des întâlnit este expresia de reducere a hazardului. Hazardul nu poate fi redus, el există independent de voința omului, dar consecințele lui (riscul) pot fi reduse.

Metodele elaborate au abordat problema hazardului seismic fie probabilistic sau fie deterministic. Din nefericire, până în prezent, ambele metode au mai multe incertitudini. Pentru a le elimina, procedeele noi combină aceste metode.

Metodele tradiționale de evaluare a hazardului seismic folosesc istoria seismică (seismicitatea) și pot conduce doar la o zonare "post - eveniment", care are o valabilitate locală, limitată. Metodele deterministice folosesc modelarea mișcării terenului în timpul unui cutremur, cu date seismice de intrare complexe (efectele sursei

#### 78 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

și ale propagării undelor seismice, utilizând cantitatea mare de informații geologice, geofizice și geotehnice disponibile).

Ambele metode, descrise simplist mai sus, necesită informații detaliate și complexe asupra surselor de hazard seismic. Informațiile geologice și tectonice completează hărțile de seismicitate și zonare seismică și le conferă acestora un caracter obiectiv și realist.

Stațiile seismice moderne oferă înregistrări digitale ale mișcărilor seismice și pot fi folosite pentru calibrarea seismogramelor sintetice. Seismicitatea și zonarea seismică, hărțile cu faliile și tipurile de faliere, estimarea magnitudinii/intensității maxime posibile, fizica surselor și legile de atenuare a undelor seismice conduc la definirea și evaluarea surselor de hazard seismic. Estimarea activității seismice viitoare este, de asemenea, foarte importantă.

În figura 4.1. se pot vizualiza sursele de hazard seismic pentru zona de vest a României, folosind date referitoare la seismicitate și tectonică. La scara regională a domeniului Carpato - Panonic, seismicitatea zonelor vestice (Austria, Slovenia și Croația) este dominantă.

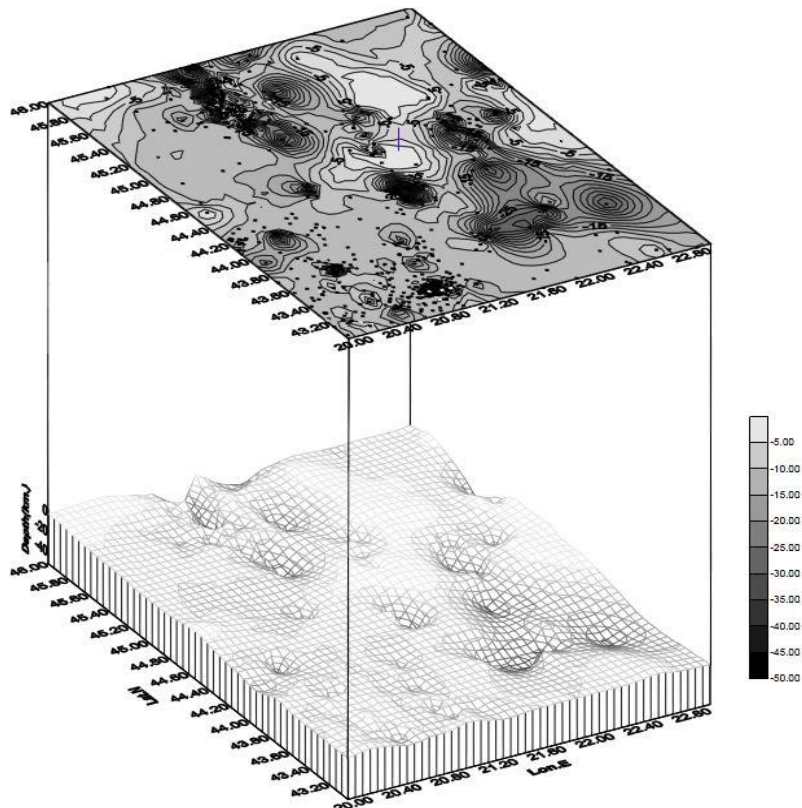


Fig. 4.1. Distribuția zonală a seismelor din Banat. Scara verticală este dată în km și reprezintă adâncimea focarelor

În acest context regional, România prezintă o seismicitate moderată, dar cu particularități deosebite. Principalele zone seismice ale României sunt: Vrancea, Câmpulung-Făgăraș, Banat, Crișana și Maramureș. Cea mai importantă este zona seismogenă Vrancea în care cutremurele puternice au adâncimi focale intermediare ( $h=90-150$  km), comparativ cu celelalte zone ale regiunii, în care cutremurele sunt predominant crustale, cu focare normale ( $h < 60$  km). Zona de vest a României este corespunzătoare geografic cu regiunea seismică Banat, una dintre cele mai active zone seismice ale României și ale bazinului Panonic.

## 4.2. Seismicitatea regiunii Banat

Analiza seismicității oricărei regiuni, țări, zone sau localități se bazează pe cataloagele de cutremure, care în mod necesar trebuie să acopere o perioadă de timp cât mai lungă și să fie complete și omogene din punct de vedere al magnitudinii/intensității. Pentru studiul seismicității zonei de vest a României și a împrejurimilor s-au folosit mai multe cataloage de cutremure:

- Catalogul cutremurelor românești (Oncescu et al., 1999), completat cu informații din cataloage întocmite de alți autori (Constantinescu și Marza, 1980; Radu et al., 1986a, 1986b; Oros, 1996, 1998; Nițoiu și Oros, 1999; Oros și Nițoiu, 2000b).
- Catalogul cutremurelor din Ungaria, (Zsiros et al., 1988; Toth et al., 1996, 1997, 1998, 1999, 2000).
- Catalogul internațional de cutremure (Centrul Internațional de Seismologie, ISC, 1964-1997)
- Catalogul UNCD - Unesco (1974)

Regiunea Banat este considerată a doua zonă din România, după Vrancea, ca importanță din punct de vedere a hazardului și riscului seismic, având în vedere (Oros și Nițoiu, 2000):

- numărul mare de cutremure de pământ produse începând cu anul 1766 (peste 3500);
- intensități macroseismice maxime observate de VIII MSK asociate unui număr relativ mare de focare;
- particularitățile seismotectonice regionale (fracturi crustale cu potențial seismic ridicat);

Pentru perioada 984 până prezent, în zona de vest a României sunt documentate 65 de cutremure de pământ cu intensitatea  $I_{\max Obs} \geq VI^0$  MSK (în România se folosește scara de intensități MSK, similară cu scara Mercalli). S-a folosit pragul de intensitate de  $VI^0$  MSK deoarece la această valoare apar avarii la construcții. Se observă că sursele de hazard seismic din zona de vest a României se pot grupa în trei sectoare principale:

1. Sectorul de Nord (SN), cu  $I_{\max.obs}=VII^0$  MSK și sursele de hazard seismic: Ineu, Arad, Vinga-Variaș, Mașloc, Periam, Sânnicolau Mare.
2. Sectorul Central (SC), cu  $I_{\max.obs}=VIII^0$  MSK și sursele de hazard seismic: Jimbolia, Săcălaz, Timișoara, Sânmihaiu Român, Peciu Nou, Recaș, Buziaș-Hitiaș, Valea Mureșului (zona Deva), Bodo-Bethausen, Banloc, Voiteg, Șag-Parța.

3. Sectorul de Sud (SS), cu  $I_{\max, \text{obs}} = \text{VIII}^{\circ}$  MSK și sursele de hazard seismic: Băile Herculane-Mehadia, Orșova, Dognecea, Oravița - Anina, Sasca Montană, Moldova Nouă, Petroșani.

Adâncimile cutremurele de pământ produse în aceste surse sunt superficiale, cu valori între 2 km și 20 km. Cele mai mari adâncimi s-au înregistrat în SN ( $h=20$  km) și în SS ( $h=19$  km).

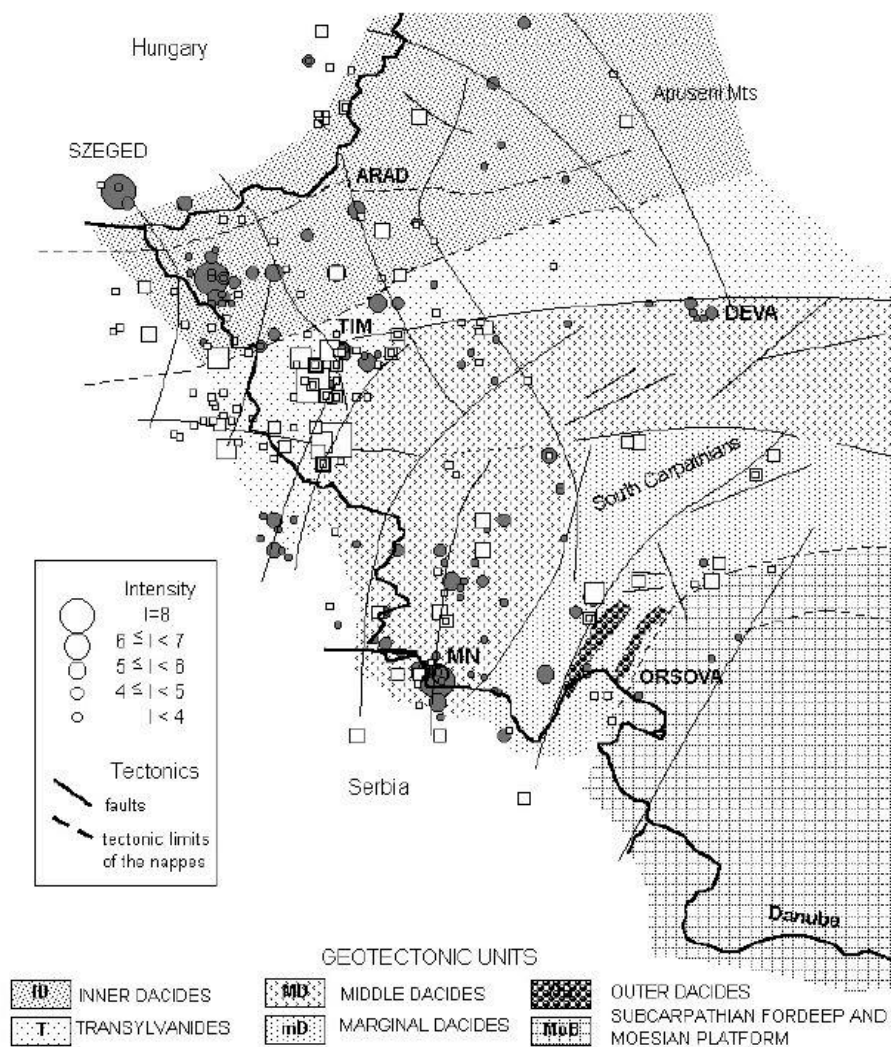


Fig. 4.2. Distribuția epicentrelor cutremurelor de pământ cu  $I_0 \geq VI$  MSK, produse în regiunea seismică Banat și zonele învecinate



În zonele învecinate există surse suplimentare de hazard seismic pentru zona de vest a României:

- Transilvania,  $I_{\max.\text{obs}} = \text{VIII}^{\circ}$  MSK (zona Târnavelor și Sibiu – Câmpulung)
- Oltenia,  $I_{\max.\text{obs}} = \text{VI}^{\circ}$  MSK (Târgu Jiu - Baia de Aramă, Orșova)
- Serbia,  $I_{\max.\text{obs}} = \text{VIII-IX}^{\circ}$  MSK (zonele Alibunar, Srbsky Ittebej, Kikinda, Becej)
- Ungaria,  $I_{\max.\text{obs}} = \text{VIII}^{\circ}$  MSK (zonele Szeged și Bekes)

În figura 4.2. este prezentată distribuția spațială a epicentrelor cutremurelor de pământ produse în regiunea Banat, pentru cutremurele cu intensitatea MSK în epicentru  $I_0 \geq \text{VI}$  (Oros și Nițoiu, 2000). Conform aceluiași autori, pot fi evidențiate următoarele aspecte specifice ale zonei seismice Banat:

- zona este caracterizată de o intensă activitate seismică, cu un număr semnificativ de cutremure de pământ cu  $I_0 \geq \text{VI}$  MSK în perioada 1766-2000 (35 de cutremure cu  $I_0 \geq \text{VI}$ , 23 de cutremure cu  $I_0 \geq \text{VII}$ , 7 cutremure cu  $I_0 \geq \text{VIII}$ ).
- adâncimea focarelor sunt cuprinse între 5 și 20 km, cele mai mici (sub 10 km) predominând în zona centrală, iar cele mai mari observându-se în nord și sud. Datorită adâncimii mici ale focarelor, cutremurele produse în zona Banat sunt cutremure locale, care afectează arii restrânse, influența reciprocă a zonelor active seismic fiind în general ne semnificative.
- concentrarea activității seismice după anul 1900 în zona centrală și reducerea acesteia în sud și nord. Acest aspect a fost sesizabil o perioadă lungă de timp (până în 1991, când s-a produs seismul puternic de la Băile Herculane).
- apariția unor focare importante noi în zone considerate cu nivel scăzut de risc seismic (ex. cutremurul din 18 iulie 1991, de la Mehadia - Băile Herculane, cu  $I_0 \geq \text{VIII}$  MSK s-a produs într-o zonă seismică cu intensitatea maximă observată, în perioada 1766-2000 de VI MSK).

Tabelul 4.1

Intensități maxime observate în amplasamentul Timișoara - str. Calea Buziașului, nr. 3-5 pe baza hărților macroseismice (Crainic și colab., 1998, Marin, 2000).

Nr. crt.	Cutremure Data	h [km]	$M_s$	$I_0$ [MSK]	$D_E$ [km]	$I_B$ [MSK]
<b>A. CUTREMURE INTERMEDIARE VRÂNCENE</b>						
1	26.10.1802	150(130)	7,5	9 (9 <sup>+</sup> )	415	5 (5-6)
2	10.11.1940	133	7,4	9	423	4-4 <sup>+</sup> (4)
3	04.03.1977	109	7,2	8-9	396	5
4	30.08.1986	133	7,0	8	407	3
5	30.05.1990	89(91)	6,7	8	438	3
6	31.05.1990	79	6,1	7	437	2
<b>B. CUTREMURE LOCALE</b>						
1	10.10.1879	10	5,3	8	121	3
2	12.07.1991	11	5,7	8	45	6
3	02.12.1991	9	5,6	8	36	5-6
4	24.03.1996	23	4,8	7,1	23	6,6

## 82 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

Notă:  $h$  = adâncimea focală;  
 $M_s$  = magnitudinea;  
 $I_0$  = intensitatea epicentrală;  
 $D_E$  = distanța epicentrală;  
 $I_B$  = intensitatea în amplasamentul barajului;

Hazardul seismic în zona Banat se datorează în principal cutremurelor locale. Intensitatea mișcării seismice în zona Timișoarei datorate cutremurelor vrâncene sunt în general mai mici decât cele datorate cutremurelor locale.

Seismicitatea recentă (1996 - prezent, Oros și Nițoiu, 2000), este corelată cu seismicitatea istorică ( $I \geq VII^0$  MSK) în figura 4.3. Este evident că toate zonele seismogene din zona de vest a României sunt active în prezent. În primul rând, activitatea seismică recentă este concentrată în ariile de dezvoltare a replicilor cutremurelor puternice din anul 1991: Banloc - Voiteg (12 Iulie 1991,  $M=5.7$ ,  $I_0=VIII^0$  MSK și respectiv 02 Decembrie 1991,  $M=5.6$ ,  $I_0=VIII^0$  MSK) și Băile Herculane - Mehadia (18 Iulie 1991,  $M=5.6$ ,  $I_0=VIII^0$  MSK).

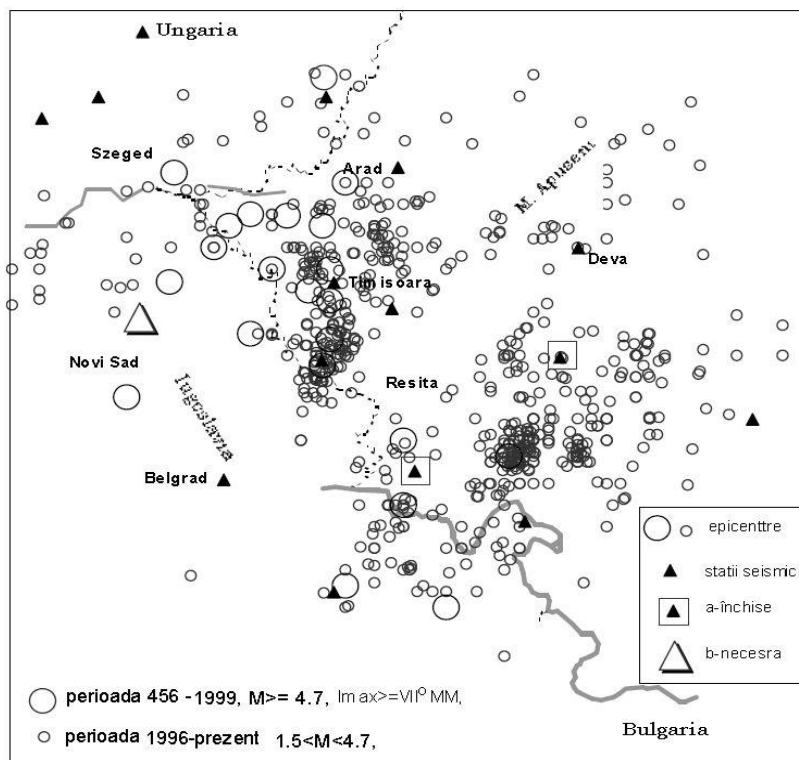


Fig. 4.3. Seismicitatea recentă a zonei de vest a României: perioada 1966 – prezent (după Oros și Nițoiu, 2000b). Cercurile mari simbolizează epicentrele cutremurelor cu  $I_{max\ Obs} \geq VII^0$  MSK ( $M \geq 4.7$ ), produse în perioada 456 - prezent.

În al doilea rând, activitatea seismică este concentrată în perimetrele Maşloc, Becicherecu Mic, Buziaş, Recaş - Moşniţa, Şag-Parţa, Moldova Nouă, Petroşani şi Baia de Aramă - Târgu Jiu. Trăsăturile cadrului tectonic reflectă potenţialul seismic al acestor zone seismogene şi posibilitatea producerii unui cutremur puternic în viitor. Pe harta din figura 4.3. sunt reprezentate şi staţiile seismice care monitorizează această importantă regiune seismică a României. Este evidentă necesitatea instalării unei staţii seismice în partea de Vest, pe teritoriul Iugoslaviei. Datele de seismicitate indică valoarea  $M=6.0 - 6.5$  (echivalentă cu  $I_0 \geq IX^0$  MSK) a magnitudinii maxime posibile în bazinul Panonic. Ca o caracteristică, focarele superficiale ale cutremurelor din Banat ( $h=2-20$  km) şi rapida atenuare a energiei seismice limitează zona efectelor maxime ale unui cutremur puternic, la suprafeţe mici (Oros şi Niţoiu, 2000).

#### 4.2.1. Istoria mişcărilor seismice din aria bănăţeană

Catalogul cutremurelor bănăţene cuprinde peste 3500 seisme cu focare distribuite pe teritoriul vestic, sud-vestic al ţării, percepute de locuitori în perioada 1766 – 2005. Zona seismogenă Banat se caracterizează prin multitudinea surselor active şi potenţial active. Din analiza ultimelor cutremure rezultă că sursele potenţiale cele mai active pot fi grupate în următoarele zone: Banloc – Jimbolia - Timişoara, Băile Herculane - Orşova, Arad – Maşloc - Sânicolaul Mare şi Moldova Nouă - Oraviţa.

Din informaţiile istorice rezultă că înainte de 1901 s-au înregistrat 217 cutremure în zona Banatului, cele mai importante fiind cele de la Arad, în 1797 şi 1847, Sânicolaul Mare în 1877, 1879, Moldova Nouă în 1879, Timişoara în 1879, Oraviţa în 1894. Cel mai puternic cutremur din această perioadă pare a fi cel din 10 octombrie 1879 de la Moldova Nouă, cu intensitate VIII, urmat de numeroase replici.

Pentru perioada 1901 – 1950 sunt informaţii privind 129 de cutremure, dintre care cele mai importante sunt cel de la Herculane în 1910, Belinţ în 1913, Ofşeniţa în 1915, Sânmihaiul Român în 1936 şi Timişoara în 1950.

Între anii 1951 – 1980 se semnalează 63 de cutremure, semnificative fiind cel de la Şag în 1959, Peciu în 1960, Timişoara în 1973 şi Săcălaz în 1978.

Anii 1981 – 1990 prezintă 29 cutremure moderate ca intensitate, pentru ca în 1991 să se manifeste cele mai puternice cutremure bănăţene din perioada contemporană, care prin distrugerile produse au atras atenţia asupra potenţialului seismic al Banatului.

Aceste cutremure au fost: 12 iulie 1991, cu magnitudinea  $M=5.7$ , localizat la Banloc - Ofşeniţa, 18 iulie 1991, cu magnitudinea  $M=5.6$ , din zona Topleţ - Herculane şi 2 decembrie 1991, cu magnitudinea  $M=5.5$ , localizat din nou în zona Banloc - Voiteg. Aceste trei cutremure puternice, urmate mai recent şi de alte evenimente de importanţă mai redusă, au alarmat asupra riscului seismic la care sunt supuse construcţiile din zona Banatului şi au produs pe plan local şocul emoţional pe care l-au provocat cutremurele vrâncene în alte zone ale ţării. Deşi efectele seismelor bănăţene nu sunt comparabile cu cele ale cutremurelor vrâncene ca arie de extindere şi pagube, totuşi ele pot fi devastatoare pe arii restrânse.

În urma analizei acestor evenimente se localizează patru surse potenţiale ale seismelor bănăţene: Jimbolia – Banloc - Timişoara; Arad – Maşloc - Sânicolaul Mare; Moldova Nouă-Oraviţa şi Orşova - Băile Herculane.

#### 84 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

Prin definiție, zonele în care se produc cutremure de pământ sunt active tectonic. Astfel, este necesar să se studieze seismicitatea pentru a înțelege tectonica recentă și pentru a se confirma caracterul activ al faliilor și potențialul seismic al acestora. Mai mulți cercetători au studiat condițiile geologice și tectonice din zona de vest a României și au evidențiat particularitățile seismotectonice locale și regionale utile în studiile de hazard seismic (Visarion, Săndulescu, 1979; Săndulescu, 1984; Polonic, 1985; Dimitrescu, 1995; Oros, 1999).

În figura 4.4. se prezintă schița seismotectonică a zonei de vest a României cu principalele falii trasate după datele bibliografice notate anterior și corelate cu seismicitatea recentă și istorică. Din punct de vedere geologic și tectonic în zona de vest a României s-au identificat elemente care aparțin de două unități structurale majore cu evoluție neotectonică diferită: bazinul Panonic, o mare regiune subsidentă și lanțul muntos Carpatic, ca regiune supusă mișcărilor de ridicare (partea de Vest Carpaților Sudici și Munții Apuseni). La scară locală, ambele unități structurale sunt divizate în mai multe blocuri tectonice de tip grabene și horsturi, cu mișcări de subsidență, respectiv de ridicare. În figura 4.4. sunt reprezentate principalele falii cu activitate neotectonică intensă, care au controlat mișcările diferențiale ale blocurilor tectonice în ultima fază a ciclului geotectonic Alpin (stagiul Neotectonic, început în urmă cu cca 14.5 milioane ani). Grabenele principale sunt Sânnicolau Mare, Caransebeș, Caras - Oravița și Cerna. Între ele se dezvoltă compartimente crustale (horsturi) ridicate. Cele mai active falii în perioada 1996 - prezent sunt cele care au controlat și controlează evoluția grabenelor Sânnicolau Mare, Cerna și a structurilor secundare dezvoltate pe marginile acestora. Aceste falii se corelează foarte bine și cu focarele celor mai puternice cutremure cunoscute în zona de vest a României.

Pentru corelarea cu tectonica țărilor învecinate, s-au folosit mai multe lucrări ale cercetătorilor din Ungaria și Serbia (Adam et al., 1996; Arsovski, 1974; Kilenyi et al., 1991; Posgay et al., 1996 Pospisil, Vass, 1985). Particularitățile geologice și tectonice identificate în zona de vest a României sunt evidențiate și în zonele și țările învecinate. Distribuția surselor de hazard seismic, particularitățile tectonice și configurația rețelelor de stații seismice din această parte a Domeniului Carpato - Panonic susține necesitatea instalării unei stații seismice internaționale în zona Novi Sad - Becej (Serbia) sau în zona Sânnicolau Mare - Teremia (România).

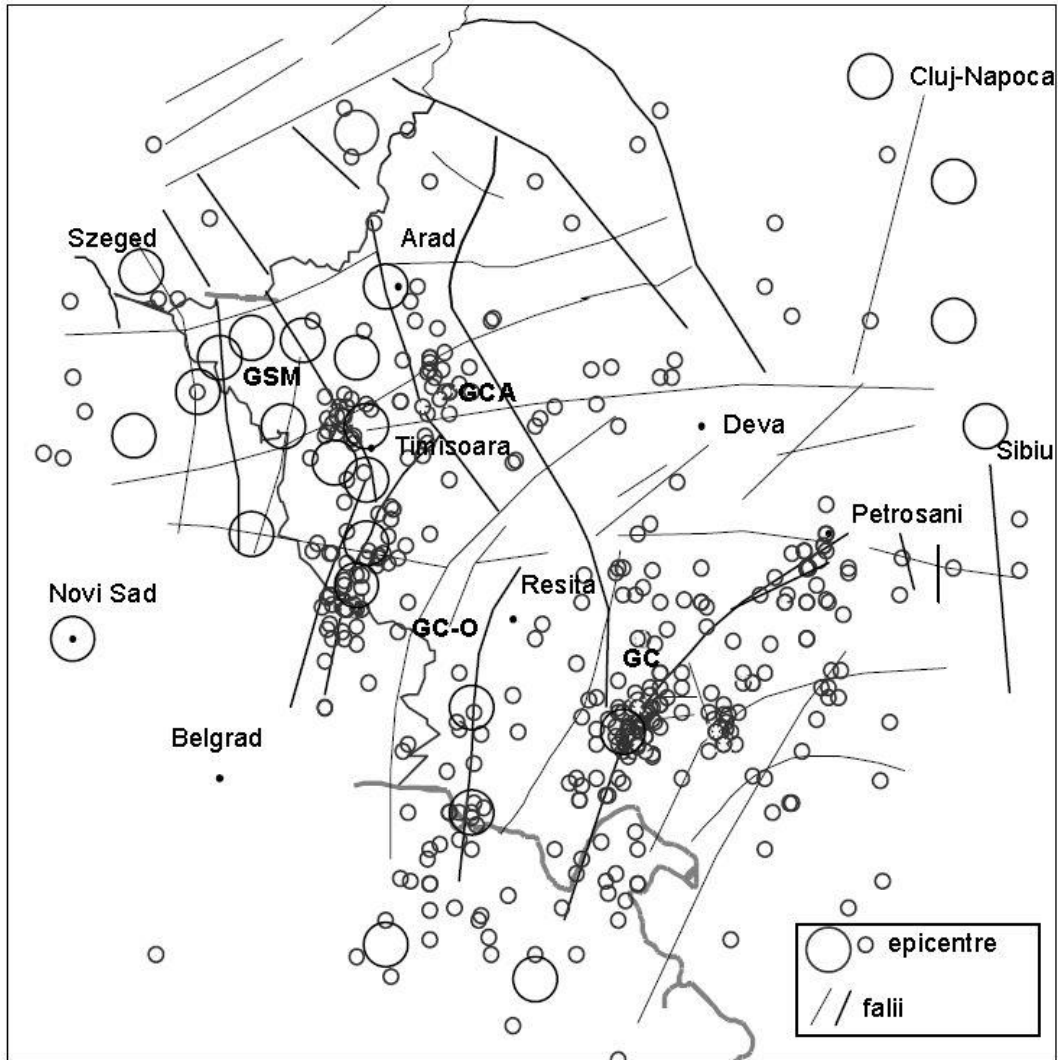


Fig. 4.4. Schița seismotectonică a zonei de vest a României. Simbolurile epicentrelor sunt la fel ca în figura 4.3. Liniile groase reprezintă faliile care mărginesc grabenele majore ale zonei de vest a României: GSM – Grabenu Sannicolau Mare, GCA – Grabenu Caransebeș, GC-O – Grabenu Caras – Oravița, GC – Grabenu Cerna

Este de semnalat faptul că înainte de 1901 au fost relevante mișcările din partea nordică și sudică a Banatului, după 1901 zona centrală (Banloc – Timișoara – Jimbolia) devine cea mai activă. În ultimul deceniu s-a reactivat focarul din zona Banloc - Voiteg, cele mai puternice și numeroase cutremure fiind înregistrate în anul 1991.

## 86 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

Activitatea seismică intensă din anul 1991 a și condus de altfel la modificarea hărții de zonare seismică a teritoriului țării. Din analiza cutremurelor produse se remarcă faptul că sunt înregistrate 15 cu intensitatea VI, 10 cu I=VII și 5 cu I=VIII. Cele mai puternice cutremure înregistrate în Banat sunt prezentate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Cutremure puternice ( $M \geq 5$ ) din Banat, între anii 1794-2005

Nr. Cr.	Data	Poziționare		Adâncime focar [km]	Intensitate epicentrală	M	Zona
		Lat.	Long.				
1	19.10.1797	46,20	21,30		VII	5	Arad
2	15.10.1847	46,20	21,30		VII	5	Arad
3	17.10.1859	46,10	20,90		VII	5	Sânnicolau Mare
4	10.10.1859	44,70	21,60		VIII	5.3	Moldova Nouă
5	20.11.1879	44,70	21,60		VIII	5.3	Timișoara
6	2.04.1901	45,50	20,70	18	VII	5	Banloc
7	27.05.1959	45,70	21,10	5	VII-VIII	5	Șag
8	12.07.1991	45,45	21,12	9	VIII	5.7	Banloc
9	18.07.1991	44,90	22,37	12	VIII	5.6	Herculane
10	2.12.1991	45,45	21,12	9	VIII	5.6	Banloc
11	19.12.1992	45,60	20,94	5	VII	4.1	Banloc
12	2.08.2001	45,50	21,07			3.3	Voiteni
13	23.05.2002	44,80	21,76			3.6	Moldova Nouă
14	24.05.2002	45,45	21,77			3.8	Moldova Nouă
15	22.06.2002	44,50	21,71			3.5	Moldova Nouă

Se evidențiază astfel un număr destul de mare de evenimente semnificative, dar zonele afectate sunt reduse în jurul epicentrului. Puține localități au fost afectate de două evenimente majore, și acestea s-au manifestat la intervale mari de timp. Această constatare diferențiază net cutremurele bănățene de cele vrâncene, care afectează zone întinse, iar localitățile din aceste zone sunt afectate de un număr mare de seisme cu intensitate ridicată.

Cutremurele din S-E Banatului au epicentrele în jurul localității Teregova, Oravița - Sasca, Moldova Nouă și Vrsat (Serbia). În 11 octombrie 1879 s-a produs cel mai puternic eveniment seismic din secolul al XIX-lea. A fost urmat de 80 replici, iar datorită condițiilor geomorfologice aria afectată a avut o formă alungită de a lungul Dunării în direcția NV-SE. La Moldova Nouă 692 din 740 de case au avut degradări importante, iar la Moldova Veche s-au produs crăpături în pământ având 1 m lățime și lungimi până la 1200 m, prin care a ieșit apa.

În câmpia Banatului s-au semnalat mai multe focare seismice, dar în special cele din jurul orașului Timișoara au provocat importante daune materiale. În 20

noiembrie 1879 la Timișoara s-au produs pagube serioase la unele biserici și la coșurile clădirilor, mai ales din suburbii. Cutremurul din 2 aprilie 1901 având epicentrul la Banloc a produs de asemenea pagube însemnate în Timișoara. Un cutremur de o violență deosebită a fost cel înregistrat în 27 mai 1959 cu epicentrul în Șag. În comuna Șag, la multe case de lut bătut, cu acoperișuri grele din țiglă s-au produs importante deteriorări, unele fiind chiar parțial dărâmate. La biserica ortodoxă română turnul s-a desprins de restul clădirii, iar la cea romano - catolică, așezată perpendicular pe direcția celei ortodoxe s-au produs fisuri grave. La clădirea Sfatului popular coșul de fum s-a prăbușit străpungând acoperișul – dovadă că mișcarea a fost verticală, iar epicentrul foarte aproape. În localitățile Parța - Munteni, despărțite prin râul Timiș și situate la o distanță de 5 km de Șag, s-au produs pagube mai puțin însemnate la casele de locuit, dar au fost avariate serios bisericile ortodoxă, catolică și cea sârbească.

Cel mai puternic cutremur bănățean din sursa Herculane în secolul XX a fost cel din 18 iulie 1991, cu magnitudinea  $M= 5.6$  și adâncimea focarului 12 km, iar din sursa Banloc a fost cutremurul din 12 iulie 1991, cu magnitudinea  $M= 5,7$  și adâncimea focarului 11 km. Efectele cutremurelor din 1991 sunt sintetizate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Cutremurele bănățene din anul 1991

Nr. Ctr.	Data și ora	M	Vieți omenești	Avarii
1	12 iulie 1991 10:42	5.7	2 morți 30 răniți	- avarii grave în zona epicentrală - clădiri distruse - mii de sinistrați
2	18 iulie 1991 11:56	5.6	câțiva răniți	- 615 case avariate în zona Herculane - Orșova
3	2 decembrie 1991 08:49	5.6	câțiva răniți	- avarii grave în Voiteg - 4500 sinistrați și 5000 case avariate

Ca urmare a seismelor locale din zona de vest a țării, impactul economic și social la scara zonelor rurale afectate a fost major. Situația nu este rezolvată nici în prezent în privința reconstrucției sau reparației în condiții de siguranță a clădirilor rurale respective, în timp ce activitatea seismică locală se manifestă în continuare.

#### 4.2.2. Reprezentarea acțiunii seismice pentru proiectare

Pentru proiectarea construcțiilor la acțiunea seismică, nivelul de hazard seismic indicat în codul P100-1/2006 este un nivel minim pentru proiectare. Valoarea de vârf a accelerației orizontale a mișcării terenului  $a_g$  numita accelerația terenului pentru proiectare corespunde unui interval mediu de recurență al evenimentului seismic (respectiv a magnitudinii acestuia)  $IMR = 100$  ani (ceea ce corespunde unui eveniment seismic a cărui magnitudine are o probabilitate de depășire de 64% în 50 de ani).

Pentru proiectarea construcțiilor, teritoriul țării este împărțit în mai multe zone de hazard seismic, caracterizate de o valoare a accelerației terenului pentru proiectare

## 88 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

$a_g$  constantă în interiorul fiecărei zone. Harta de zonare a accelerației terenului pentru proiectare  $a_g$  din P100-1/2006 se utilizează pentru proiectarea la starea limită ultimă.

Pentru construcția hărții de zonare în celelalte regiuni din țară (pentru zonele unde hazardul seismic nu este dominat de sursa subcrustală Vrancea (Moldova, Câmpia Română, Dobrogea), au fost analizate datele macroseismice istorice. Pentru zone largi din teritoriul României încă nu sunt disponibile înregistrări seismice care să permită o zonare pe baze instrumentale. Chiar și în cazul zonei Banat datele instrumentale existente sunt insuficiente ca număr, domeniu de magnitudini și dispoziție geografică.

Harta de zonare a accelerației terenului pentru proiectare  $a_g$  din P100-1/2006 este o hartă de tranziție către o hartă de zonare având un interval mediu de recurență  $IMR=475$  ani (10% probabilitate de depășire în 50 de ani). Acest nivel de hazard este cel recomandat atât de Eurocode 8 cât și de codurile de proiectare din SUA.

Spectrul de răspuns elastic  $S_e(T)$  pentru accelerații absolute în amplasament este obținut prin produsul dintre spectrul de răspuns elastic normalizat  $\beta(T)$  și accelerația terenului pentru proiectare  $a_g$ .

Pentru zona Banat s-au utilizat înregistrări ale seismelor din sursele de suprafață din zonă. Formele spectrelor normalizate sunt definite în formatul Eurocode 8 prin perioade de control (colț) ale spectrelor de răspuns ( $T_B$ ,  $T_C$  și  $T_D$ ) și prin amplificarea dinamică maximă  $\beta_0$ .

Valorile perioadelor de control (colț) ale spectrelor de răspuns au fost calculate utilizând definițiile și relațiile din Anexa A, paragraful A.1 din P100-1/2006.

Condițiile locale de teren în amplasamentul construcției sunt descrise prin valorile perioadei de control (colț)  $T_C$  a spectrului de răspuns elastic în amplasament. Aceste valori caracterizează sintetic compoziția de frecvențe a mișcărilor seismice.

Analiza valorilor perioadei de control (colț)  $T_C$  în stațiile seismice cu înregistrări din România, combinată cu elemente de ordin general privind geologia României a condus la harta de zonare a teritoriului în termeni ai perioade de control (colț)  $T_C$  din P100-1/2006.

Perioada de control (colț)  $T_C$  este utilizată ca principalul descriptor al condițiilor locale de teren și al conținutului de frecvențe al mișcărilor seismice. Această abordare este o alternativă la sistemul folosit de generația actuală de reglementari internaționale care utilizează o clasificare a condițiilor locale de teren în funcție de caracteristicile geofizice ale terenului din amplasament pe minim 30 m de la suprafața terenului. Aceste caracteristici sunt definite calitativ prin stratigrafie și cantitativ prin proprietăți ale straturilor de teren din amplasament, dintre care cea mai importantă este viteza medie ponderată a undelor de forfecare.

Atunci când este necesar, spectrul de răspuns elastic pentru deplasări pentru componentele orizontale ale mișcării terenului,  $S_{De}(T)$  se obține prin transformarea directă a spectrului de răspuns elastic pentru accelerație  $S_e(T)$ . Aceste transformări sunt conservative.

Pentru componenta verticală a mișcării terenului sunt prezentate în P100-1/2006 forme spectrale  $\beta_v(T)$ , se utilizează perioade de control (colț) obținute în mod simplificat astfel:  $T_{Bv} = 0,1T_{Cv}$ ,  $T_{Cv} = 0,45T_C$ ,  $T_{Dv} = T_D$ . Factorul de amplificare dinamică maximă a accelerației verticale a terenului de către structuri este  $\beta_{0v} = 3,0$ , iar valoarea de vârf a accelerației componentei verticală este considerată simplificat  $a_{vg} = 0,7 a_g$ .



Toate spectrele de răspuns elastic pentru componentele orizontale și pentru componenta verticală ale mișcării terenului și valorile asociate acestora indicate în P100-1/2006 sunt pentru fracțiunea din amortizarea critică  $\xi = 0,05$ .

În P100-1/2006 nu s-a introdus în mod explicit o modificare a ordonatelor spectrelor de răspuns în funcție de fracțiunea din amortizarea critică (de exemplu pentru  $\xi = 0,02$ ,  $\xi=0,10$ , etc.) pentru a permite calibrarea factorilor de comportare  $q$  acceptați de practica americană în care efectul amortizării nu este explicit considerat.

Harta de zonare a accelerației terenului pentru proiectare  $a_g$  și harta de a zonare a perioadei de control (colț), figura 4.9. și 4.10., sunt dependente de baza de date disponibilă utilizată în analize. De aceea aceste hărți trebuie considerate ca fiind evolutive, în funcție de nivelul cunoașterii seismice instrumentale din România atât privind geologia superficială cât și accelerogramele înregistrate la viitoare cutremure, în cât mai multe alte amplasamente, astfel încât hărțile și formele spectrale să poată fi îmbunătățite pe baza evidențelor instrumentale.

### 4.2.3. Caracteristicile seismelor bănățene

Ca intensitate și caracteristici principale, cutremurele bănățene se încadrează în categoria celor mai frecvente cutremure din aria mediteraneană, atât în ce privește magnitudinea cât și adâncimea focarului. Cutremurele bănățene sunt de tip crustale intra-placă, diferențiindu-se de cele vrâncene, seisme intermediare inter-plăci. Aceste diferențe în tipologia surselor implică și diferențele mari în manifestare (intensitate, teritoriu afectat, durată, specificitatea acțiunii seismice).

Cutremurele bănățene se încadrează în categoria celor de tip intra-placă, mișcări care se produc în interiorul aceleași plăci tectonice. Aceste mișcări se datorează fie ruperii din încovoiere sau tăiere a plăcii, fie lunecărilor produse de faliile existente. Însă prezența faliilor semnalate în harta seismică a Banatului cât și neomogenitatea mediului din punct de vedere al transmiterii undelor seismice face ca distribuția intensităților să fie de regulă neuniformă. Este posibil să apară o dirijare preferențială în lungul faliilor, la distanțe mult mai mari față de epicentru decât pe direcții perpendiculare.

Cea mai pregnantă caracteristică a acestor cutremure din punct de vedere seismologic este adâncimea redusă a focarelor, de obicei între 4 și 15 (20) km. Consecința directă a adâncimii reduse a focarului este scăderea rapidă a intensității o dată cu creșterea distanței față de epicentru. Din cauza adâncimii reduse, avariile cele mai puternice se produc în zona epicentrală, zonă cuprinsă pe o rază aproximativ egală cu adâncimea focarului.

O altă caracteristică a acestor cutremure o constituie intervalele de recurență mari, datorită faptului că un număr mare de focare sunt activate într-o anumită perioadă, pentru ca apoi să devină inactive perioade lungi de timp. Se constată o permanentă migrare a focarelor.

Cea mai importantă caracteristică din punct de vedere al inginerului proiectant este faptul că seismele bănățene sunt de tip impuls de viteză și deplasare, în zona epicentrală având maximum 1-2 cicluri importante și durată scurtă.

Accelerogramele înregistrate la Banloc în timpul cutremurelor din 1991, 1994, 1995, 1996 arată clar caracterul de impuls de viteză și de deplasare, cu un număr redus

## 90 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

de cicluri semnificative (anexă, 1 - 18). Înregistrările efectuate în Timișoara arată modificarea caracteristicilor mișcării o dată cu creșterea distanței epicentrale, accelerațiile reducându-se mult, iar durata, perioada de vibrație și numărul de cicluri fiind mai mari.

Perioadele de vibrație, în special cele pentru impulsul de viteză sunt relativ scurte, dar se observă și perioade de vibrație mai mari, în special în cazul terenurilor slab consolidate și evident, așa cum s-a spus mai sus, o dată cu creșterea distanței epicentrale.

Componentele verticale ale mișcărilor seismice de suprafață sunt importante ca ordin de mărime, ele putând acționa simultan cu cele orizontale, dar impulsurile verticale au perioade mai scurte decât cele orizontale. O constatare deosebit de importantă pentru comportarea structurilor este aceea că perioadele proprii verticale ale structurilor corespund cu perioadele de mișcare verticală, ceea ce conduce la amplificări importante pe verticală.

Cutremurele puternice sunt însoțite de un număr mare de replici, fapt constatat și la seismele din 1991, intensitatea acestora scade însă în timp.

### 4.2.4. Recurența seismelor bănățene

Studiile efectuate la INCERC București asupra hazardului seismic pentru zonele seismice din țara noastră [4] au stabilit perioadele de revenire pentru zonele seismice semnificative din țara noastră, zona bănățeană comparativ cu cea vrânceană. Această analiză este sintetizată în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4

Perioada de revenire pentru cutremurele bănățene și vrâncene

Magnitudine	Perioada (ani)	Zona bănățeană				Zona vrânceană
		Banloc - Timișoara		Jimbolia - Arad		
		50%	40%	20%	10%	
4.0	1,6	3,2	4	8	16	
4.5	4	8	10	20	40	
5.0	10	20	25	50	100	
5.5	25	50	62	125	250	4
5.75	44	88	110	220	440	
6.0	112	224	280	560	1120	8
6.25	1320	2640	3300	6600	13200	

Cutremurele bănățene au fost determinate în două variante de legi de recurență; de asemenea, pe lângă perioada de revenire globală s-au trecut în tabel și perioadele pentru diferitele subzone bănățene, în ipoteza că zonelor celor mai active (Banloc-Timișoara și Moldova Nouă-Oravița) le revine 40-50% din activitatea totală, celorlalte zone revenindu-le 10-20%. Diferențierea pe subzone este foarte importantă pentru Banat ținând seama că acestea se influențează foarte puțin, câtă vreme în cazul seismelor vrâncene practic toate localitățile zonei sunt afectate.

Dacă, pentru un cutremur cu magnitudinea M=6 (intensitate VII - VIII) perioada de revenire într-o zonă bănățeană este de 224 până la 1120 ani, în zona

vrânceană ea este de 8 ani. Diferențele dintre aceste perioade de revenire sunt foarte mari, cu implicații deosebite asupra comportării structurilor. Astfel, pentru o structură amplasată în zona bănățeană, există posibilitatea ca pe durata vieții ei să nu fie niciodată afectată de un cutremur de intensitate VIII, amplasată însă în zona de influență vrânceană, ea riscă să fie supusă la 8-10 evenimente de această intensitate și câteva chiar de intensitate mai mare.

În tabelul 4.5. sunt prezentate după Lungu [18] magnitudinile pentru diferite perioade de revenire, pentru cele mai active surse din Banat, orașul Timișoara, respectiv Moldova Nouă.

Tabelul 4.5

Magnitudini pentru diferite intervale medii de recurență

Sursa seismică	Perioada de revenire (ani)			
	10	50	100	475
Timișoara	4.4	5.3	5.6	6.0
Moldova Nouă	3.6	4.8	5.2	5.8

#### 4.2.5. Magnitudinea seismelor de calcul

În cazul cutremurelor de intensitate redusă, relația pentru determinare perioadei de revenire este dată de Gutenberg - Richter:

$$\log_n(\geq M) = a - b \cdot M \quad (4.1)$$

unde  $n(\geq M)$  reprezintă numărul mediu de evenimente având o magnitudine egală sau mai mare decât  $M$ , într-un an, iar  $a$  și  $b$  sunt coeficienți care se echilibrează din datele înregistrate.

În cazul cutremurelor de magnitudine mare, relația (1) dă diferențe neacceptabile, de aceea există propuneri pentru îmbunătățirea ei.

- *Varianta Lungu* [18]:

$$n(\geq M) = e^{\alpha - \beta M} \frac{1 - e^{-\beta(M_{\max} - M)}}{1 - e^{-\beta(M_{\max} - M_0)}} \quad (4.2)$$

în care:  $M_{\max}$  este magnitudinea maximă credibilă a sursei,  $M_0$ , magnitudinea minimă considerată în calcul și  $\alpha = a \ln 10$ ;  $\beta = b \ln 10$ .

- *varianta Sandi* [18]:

$$\log n(\geq M) = a - bM - \frac{c_{as}}{M_{\max} - M} \quad (4.3)$$

unde  $c_{as}$  este un coeficient numeric determinat din considerații statistice.

Perioada de revenire, în ani, a unui cutremur de magnitudine egală sau mai mare decât  $M$  este inversul numărului ( $\geq M$ ).

Pentru zona seismică bănățeană, relațiile de mai sus devin:

- *varianta Lungu*:

92 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

$$a) \quad \log(n \geq M) = 2.21 - 0.68M \quad (4.4)$$

$$b) \quad n(\geq M) = e^{5.093-1.571M} \frac{1 - e^{-1.571(M_{\max} - M)}}{1 - e^{-1.571(M_{\max} - 4.1)}} \quad (4.5)$$

Magnitudinea maximă credibilă pentru zona seismică bănățeană este  $M_{\max}=6.0...6.3$ .

Relațiile (4) și (5) sunt prezentate în figura 4.5.

- varianta Sandi propusă de autor în două forme, din cauza numărului redus de înregistrări:

- forma 1:

$$a) \quad \log(n \geq M) = 1.8 - 0.6M \quad 4.0 \leq M < 5.5 \quad (4.6)$$

$$b) \quad \log(n \geq M) = 0.45 - 0.1M - \frac{0.5}{6.5 - M} \quad 5.5 \leq M < 6.5 \quad (4.7)$$

- forma 2:

$$a) \quad \log(n \geq M) = 3.0 - 0.8M \quad 4.0 \leq M < 5.5 \quad (4.8)$$

$$b) \quad \log(n \geq M) = 0.75 - 0.3M - \frac{0.5}{6.5 - M} \quad 5.5 \leq M < 6.5 \quad (4.9)$$

care admit că valoarea maximă credibilă pentru zona bănățeană este  $M_{\max}=6,5$ . Cele două formulări sunt prezentate de asemenea în figura 4.5.

Valorile magnitudinilor corespunzătoare perioadelor de revenire luate în considerare, comparativ pentru cele două variante sunt sintetizate în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6

Magnitudinile de calcul pentru zona bănățeană

Perioada de revenire (ani)	Varianta Lungu		Varianta Sandi	
	$M_{\max}=6.0$	$M_{\max}=6.3$	forma 1	forma 2
10	4.72	4.72	4.66	4.80
475	5,32	5,95	6.08	6.07

Din analiza propunerilor Lungu și Sandi din figura 4.5., comparativ cu magnitudinile înregistrate se pot observa următoarele aspecte:

- relațiile date de Lungu și Sandi (forma 1) corespund bine cu valorile înregistrate pentru domeniul magnitudinilor reduse ( $M \leq 5.5$ ). Forma 2.a (Sandi) este mult prea pesimistă;
- există puține înregistrări pentru magnitudini mari, așa că este greu de tras concluzii definitive. Dacă Lungu consideră valorile maxime  $M_{\max}= 6,0...6,3$ , Sandi dă drept valoare maximă  $M_{\max}=6,5$ . Față de formulările analizate, singura înregistrare din această zonă pare să corespundă mai bine cu formularea Lungu.

Pentru a defini mărimile de proiectare - accelerațiile de calcul - trebuie definite perioadele de revenire pentru diferitele stări limită. Aceste perioade depind de seismicitatea regiunii precum și de deciziile autorităților privind nivelele sociale și economice pentru avariile acceptabile. De aceea este foarte greu de a stabili valori universale valabile. De exemplu, Vision 2000 consideră pentru Statele Unite următoarele perioade de revenire, funcție de tipul mișcării terenului:

- cutremure: - frecvente 43 ani
- ocazionale 72 ani
- rare 475 ani
- foarte rare 970 ani

Ținând seama de observațiile de mai sus, în unul din studiile efectuate la INCERC Timișoara privind zona seismogenă Banat se propun următoarele perioade de revenire:

- cutremure: - frecvente 8-10 ani
- ocazionale 20-30 ani
- rare 475 ani
- foarte rare 970 ani

Pentru stabilirea valorilor magnitudinilor se adoptă varianta Lungu [18], cu magnitudinea maximă posibilă,  $M_{max}=6,3$ .

Rezultă astfel următoarele valori:

- cutremure: - frecvente (10 ani)  $M=4,8$
- ocazionale (30 ani)  $M=5,5$
- rare (475 ani)  $M=5,9$
- foarte rare (970 ani)  $M=6,3$

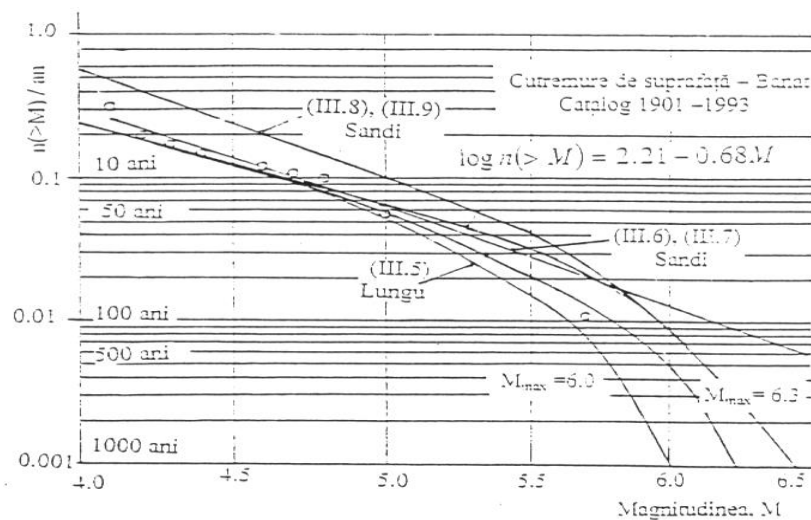


Fig. 4.5. Magnitudinea maximă credibilă pentru zona seismică Banat

#### 4.2.6. Legea de atenuare pentru surse seismice de suprafață

Legea de atenuare a parametrilor care caracterizează mișcarea terenului în funcție de distanța la focar este o curbă obținută printr-un procedeu de regresie neliniară aplicată unor seturi de date înregistrate sau calculate. Din numeroasele forme care pot fi adoptate pentru analiza fenomenului de atenuare se poate folosi modelul Joyner - Boore, cel mai des utilizat în practica ingineriei seismice:

$$\ln PGA_h = c_1 + c_2 M + c_3 \ln R + c_4 h + \varepsilon \quad (4.10)$$

- în care :
- $PGA_h$  - valoarea de vârf a accelerației orizontale;
  - $M$  - magnitudinea;
  - $R$  - distanța hipocentrală a amplasamentului;
  - $H$  - adâncimea focarului;
  - $\varepsilon$  - variabilă aleatoare având media zero și valoare maximă abaterea standard  $\sigma_\varepsilon$ ;
  - $c_1, c_2, c_3, c_4$  - coeficienți care depind de valorile înregistrărilor;

Întrucât pentru zona bănățeană nu există studii privind legea de atenuare și având în vedere faptul că aceste cutremure se încadrează în categoria celor de suprafață, în general comune pentru Europa, se propune folosirea legilor de atenuare stabilite de Ambraseys [7] pentru cutremurele de suprafață. Aceste relații au fost stabilite pe baza unui studiu statistic în care s-au considerat peste 1000 înregistrări din zona central europeană și mediteraneană.

$$\log PGA_h = -1,06 + 0,245 \cdot M - 0,00045 \cdot R - 1,061 \log R + 0,25 \cdot P \quad (4.11)$$

$$\log PGA_v = -1,33 + 0,248 \cdot M - 0,0011 \cdot R - 1,000 \log R + 0,25 \cdot P \quad (4.12)$$

- în care:  $R \leq \sqrt{d_e^2 + h_f^2}$  este distanța hipocentrală, cu  $d_e$ , distanța epicentrală și  $h_f$ , adâncimea focarului;
- $P$  - este un coeficient de corelare statistică,  $P = 0$  pentru valori medii și  $P = 1$  pentru valorile medii și o abatere statistică.

Considerând adâncimea focarului  $h_f = 10$  km, caracteristică cutremurelor bănățene, se prezintă în tabelul 4.7. și figura 4.6. curbele de atenuare pentru cutremurele corespunzătoare stărilor limită, ultimă ( $M=5,9$ ) și de exploatare ( $M = 4,8$ ).

Tabelul 4.7

Accelerația de vârf pentru zona seismică bănățeană (cm/s<sup>2</sup>)

d <sub>e</sub> (km)	R (km)	Accelerația orizontală PGA <sub>h</sub>				Accelerația verticală PGA <sub>v</sub>			
		starea limită ultimă		starea limită de exploatare		starea limită ultimă		starea limită de exploatare	
		med	med+ σ	med	med+ σ	med	med+ σ	med	med+ σ
1	10.05	226	402	121	216	129	230	64	115
2	10.20	222	394	119	211	127	227	64	114
4	10.77	221	375	113	201	120	214	60	107
10	14.14	159	283	85	152	91	162	46	81
20	22.36	99	176	53	95	56	100	28	50
40	41.23	52	93	28	50	26	52	15	26
70	70.71	29	52	16	28	16	28	8	14
100	100.50	20	35	11	19	10	18	5	9

Trebuie menționat că pentru sursele seismice crustale, în analiza de hazard realizată pentru România au fost studiate și alte relații de atenuare. Dintre acestea se menționează:

$$a) \log_{10}(a_n) = -1,09 + 0,238 \cdot M_s - 0,0005 \cdot r - \log_{10}(r) + 0,28 \cdot P \quad (4.13)$$

unde:

$$r = \sqrt{d^2 + h_0^2}; \quad 4 \leq M_s < 7.3; \quad 1 < d < 300 \text{ km}$$

- d - distanța hipocentrală, în km
- h<sub>0</sub> - 6 km (adâncimea medie a focarelor)
- M<sub>s</sub> - magnitudinea undelor de suprafață
- P - cu semnificația din relația (4.11)
- a<sub>n</sub> - în g

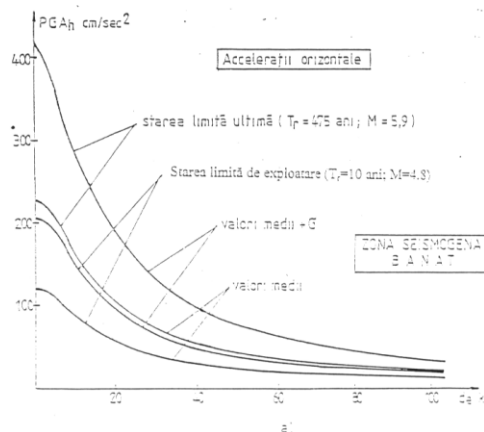


Fig. 4.6. Curbele de atenuare pentru seismele bănățene [6]

$$b) \log_{10}(a_n) = -1,43 + 0,245 \cdot M_s - 0,0010 \cdot r - 0,786 \log_{10}(r) + 0,24 \cdot P \quad (4.14)$$

unde  $h_0 = 2,7 \text{ km}$ ,  $4 < M_s < 7,3$

Relațiile de atenuare (4.13) și (4.14) sunt arătate în figura 4.7.

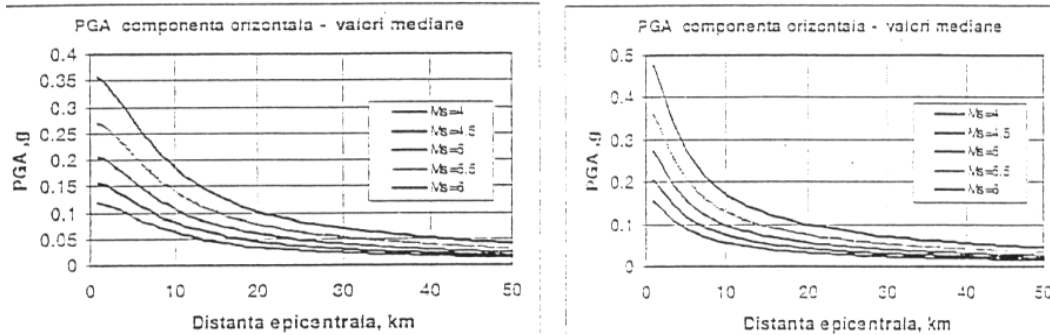


Fig. 4.7. Relațiile de atenuare propuse de Ambraseys

$$c) \log_{10}(a_n) = -1,06 + 0,245 \cdot M_s - 0,00045 \cdot r - 1,0161 \cdot \log_{10}(r) + 0,25 \cdot P \quad (4.15)$$

unde  $h = 10 \text{ km}$ .

Această relație de atenuare a fost propusă de Ambraseys și este ilustrată în figura 4.8.

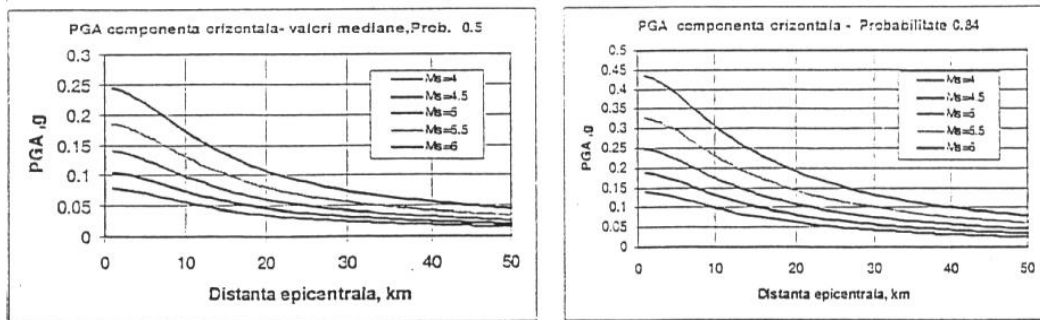


Fig. 4.8. Relația de atenuare (14)

$$d) \log_{10}(a_n) = -1,74 + 0,273 \cdot M_s - 0,954 \cdot \log_{10}(r) + 0,076 \cdot S_A + 0,058 \cdot S_S \quad (4.16)$$

unde:

- $h_0 = 4,7 \text{ km}$ ,  $a_n$  este în g
- $S_A = 0$ ;  $S_S = 0$  (pentru roci -  $V_S > 750 \text{ m/s}$ )
- $S_A = 1$ ;  $S_S = 0$  (pentru teren tare -  $360 < V_S < 750 \text{ m/s}$ )
- $S_A = 0$ ;  $S_S = 1$  (pentru teren moale -  $V_S < 360 \text{ m/s}$ )



#### 4.2.7. Zonarea probabilistică a hazardului seismic

Concluzia generală a analizei probabilistice de hazard seismic este concretizată în noua versiune a codului de proiectare P100-1/2006. Această zonare a accelerației terenului pentru proiectare,  $a_g$ , este indicată în figura 4.9., pentru cutremure din sursa subcrustală Vrancea și pentru cutremure din surse de suprafață. Se consideră un interval mediu de recurență  $IMR = 100$  ani.

În calculul dinamic al structurilor se utilizează acceleroame, acestea putând fi de mai multe tipuri: artificiale, înregistrate și simulate.

Acceleroamele artificiale sunt generate pe baza spectrului de răspuns elastic pentru accelerații absolute ce trebuie utilizat în amplasamentul în cauză, conform prevederilor în paragraful 3.1 din P100-1/2006. Cerințele minimale, dar obligatorii ce trebuie respectate în generarea acestui tip de acceleroame sunt indicate în paragraful 3.3.1 din P100-1/2006.

Acceleroamele înregistrate (paragraful 3.3.2 din P100-1/2006) trebuie să fie compatibile cu condițiile seismice caracteristice amplasamentului (tip de sursă seismică, mecanism de rupere, poziție față de focar, condiții locale de teren etc.), în primul rând valoarea accelerației terenului pentru proiectare  $a_g$  în amplasament etc.

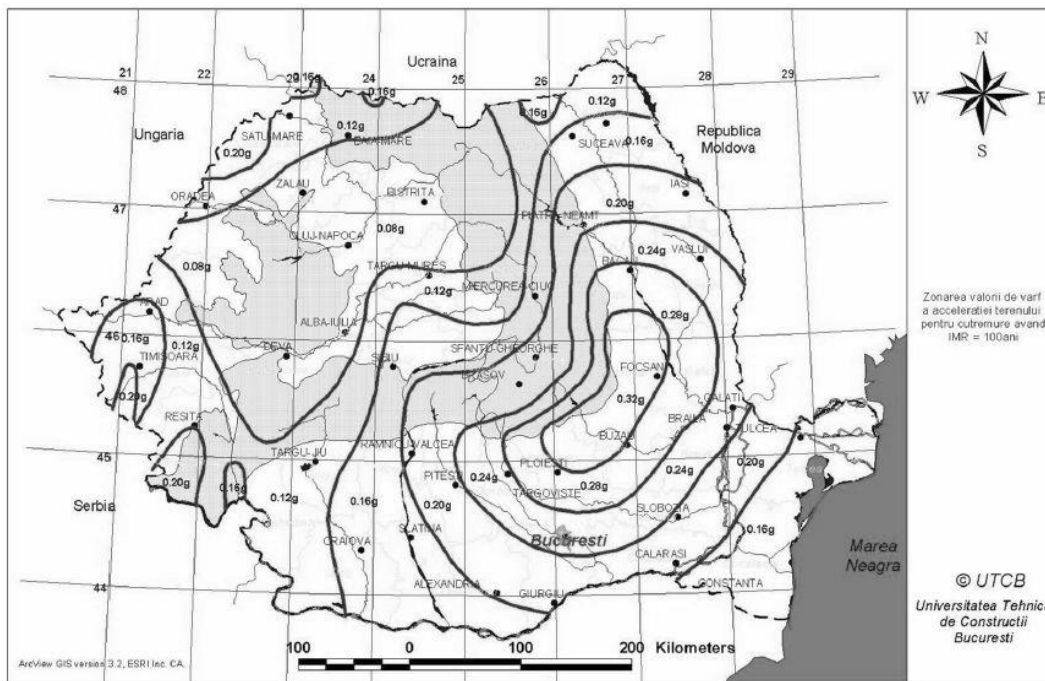


Fig. 4.9. Zonarea teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare  $a_g$  pentru cutremure având intervalul mediu de recurență  $IMR = 100$  ani

98 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA - 4

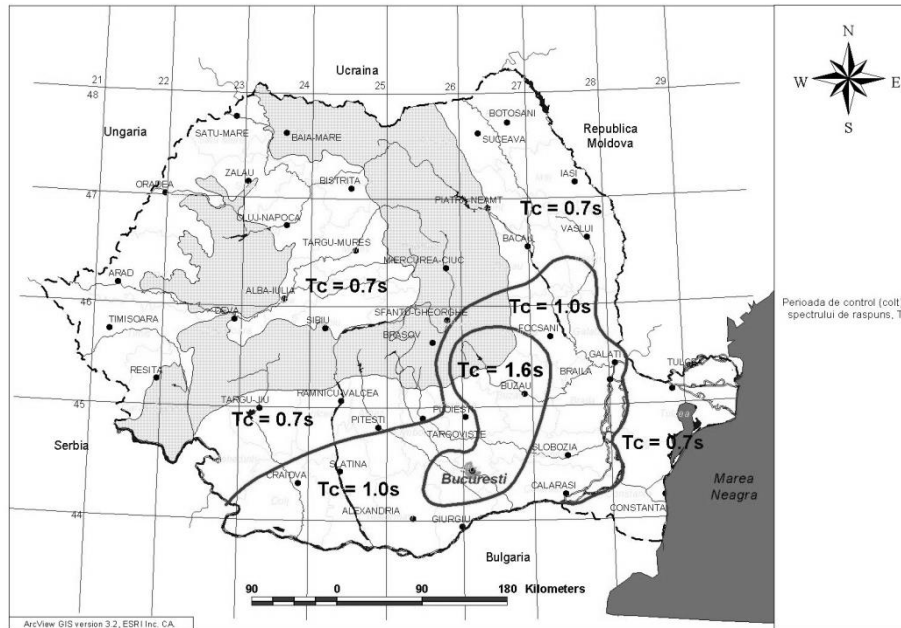


Fig. 4.10. Zonarea teritoriului României în termeni de perioada de control (colț),  $T_c$  a spectrului de răspuns (din P100-1: 2006)

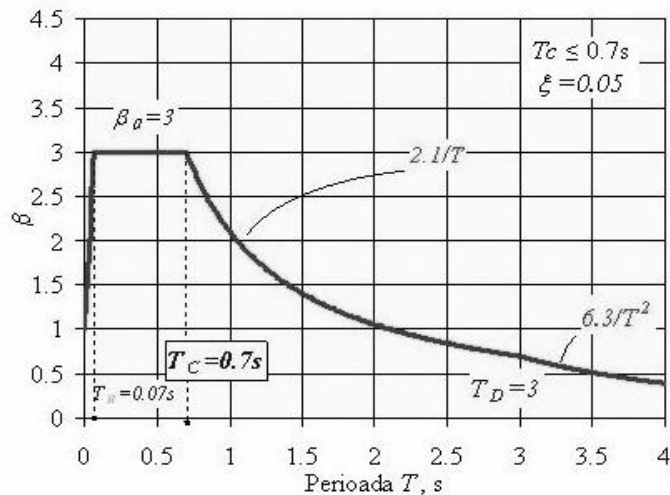


Fig. 4.11.(din P100-1/2006) Surse crustale în Banat: spectru normalizat de răspuns elastic pentru accelerații pentru componentele orizontale ale mișcării terenului pentru zonele în care hazardul seismic este caracterizat de  $a_g = 0,20g$  și  $a_g = 0,16g$ .

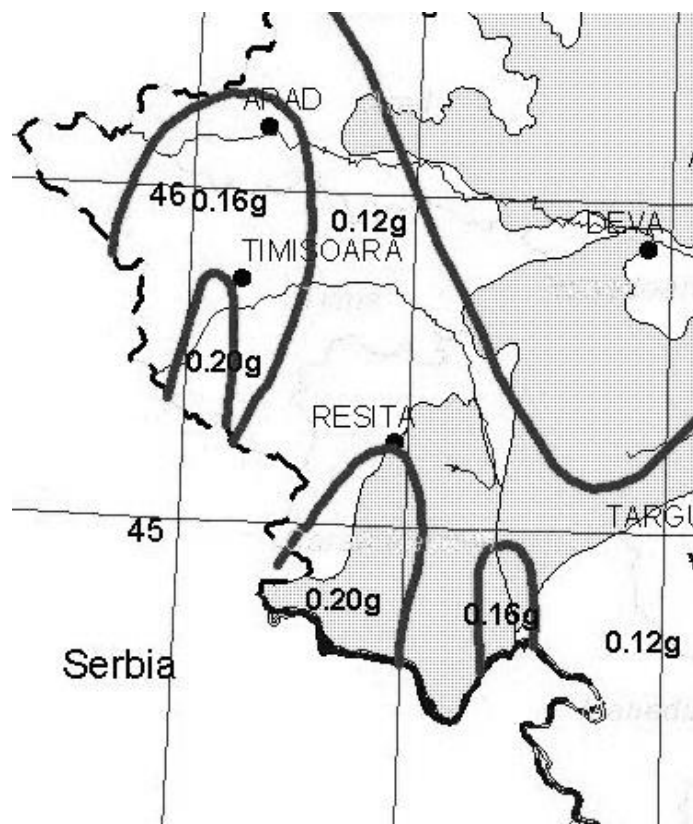


Fig. 4.12.(din P100-1: 2006) Detaliu (pentru Banat): Zonarea teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare  $a_g$  pentru cutremure având intervalul mediu de recurență  $IMR = 100$  ani

Tabelul 4.8  
Principalele evenimente seismice înregistrate de stațiile seismice INCERC amplasate în zona Banat

DATA	ORA	LAT-N	LONG-E	ADÂNCIME	$M_w$	EPICENTRU
1991.07.12	10:42:21.4	45.38	21.03	11	5.6	Banloc Ro
1991.07.18	11:56:31	44.90	22.30	12	5.6	
1991.07.19	01:27:32	45.31	21.00	10	4.8	
1991.12.02	08:49:41.0	45.45	21.10	9	5.5	Voiteg Ro

Tabelul 4.9

Stațiile seismice amplasate Banat

Nr.	Denumire stație	Adresa	Clădire	Cod stație	Latit.	Long.	Tip instrument	Regim înălțime	Nivel amplasament	An instalare
1	Banloc		Primărie	BNL	45.3 97	21.0 70	SMA1 <i>Analog</i>	P	S	1991
2	Timișoara – RAT	Bd. Dâmbovița	RAT Timișoara	TIM1	45.7 47	21.2 20	SMA1	P+2E	P	1985
3	Timișoara – EAM	Calea Buziașului 26	EAM SA	TIM2	45.7 46	21.2 40	SMA1	P	S	1986

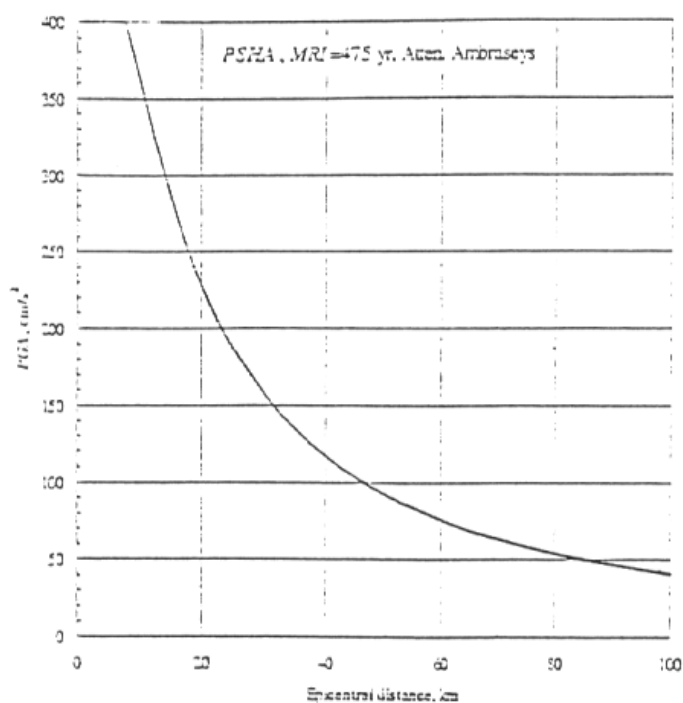


Fig. 4.13. Valorile accelerației de vârf (PGA) din sursa seismică Banat

În anexă sunt prezentate rezultatele prelucrărilor a opt înregistrări obținute la Banloc (BNL) și Timișoara (TIM1 și TIM2):

1. 911BNL1 – BANLOC – Banat

2. 911TIM2 – Timișoara Calea Buziașului – Banat
3. 911TIM1 – Timișoara B-dul Dâmbovița – Banat
4. 912BNL1 – BANLOC – Banat
5. 913BNL1 – BANLOC – Banat
6. 917BNL1 – BANLOC – Banat
7. 921TIM2 – Timișoara Calea Buziașului – Banat

De asemenea sunt prezentate istorii în timp și spectre de răspuns în format Kinematics și spectre de răspuns (pentru cele 2 componente orizontale ale înregistrării și pentru 12 direcții orizontale azimutal echidistante) și spectre de intensități pentru șase intervale de mediere (0,0625 sec -0,250 sec), (0,250 sec -0,50 sec), (0,50 sec -1,0 sec), (1,0 sec -2.0 sec), (2.0 sec -4.0 sec).

#### 4.2.8. Spectre de proiectare

Spectrul de proiectare trebuie astfel conceput încât să acopere toate situațiile posibile de a se produce. De aceea el se stabilește pe baza unor judecăți seismologice, ingineresti, de siguranță și economice.

Din datele seismologice se cunoaște faptul că există două tipuri distincte de cutremure:

- produse de mișcări inter-plăci;
- produse de mișcări intra-plăci.

Caracteristicile acestor două tipuri de cutremure sunt diferite (fig.4.14). La cutremurele produse de alunecările dintre două plăci, care sunt de obicei de adâncime, din cauza traversării unui strat mai gros de teren, perioadele sunt mai lungi ( $T_c > 0.7$  s), amplificarea este mai redusă și durata mai mare. Cutremurele intra-plăci au durată scurtă, amplificare mare în domeniul perioadelor foarte scurte ( $T_c \approx 0.3-0.4$  s) și amortizare importantă pentru perioadele medii și lungi.

Pentru cutremurele inter-plăci, se recomandă utilizarea relației:

$$S_a = \frac{1.25S}{T^{0.67}} \quad S_a \leq 2.5 \quad (4.17)$$

relație recomandată și în EC8. Valoarea lui S se alege astfel ca perioada de colț să corespundă cu înregistrările efectuate in situ.

Pentru cutremurele intra-plăci, tot în se propune relația:

$$S_a = \frac{S_i}{T^{1.1}} \quad S_a \leq 2.7 \quad (4.18)$$

care ține seama de o reducere mai mare a valorilor în zona perioadelor medii și lungi.

Mărimile S, respectiv  $S_i$  din relațiile (4.17) și (4.18) pot lua diferite valori în funcție de natura terenului, rezultând diferite spectre, care sunt prezentate calitativ în figura 4.15.

Pentru a avea un termen de comparație în continuare se prezintă caracteristicile spectrelor de calcul pentru cele două zone, vrânceană și bănățeană.

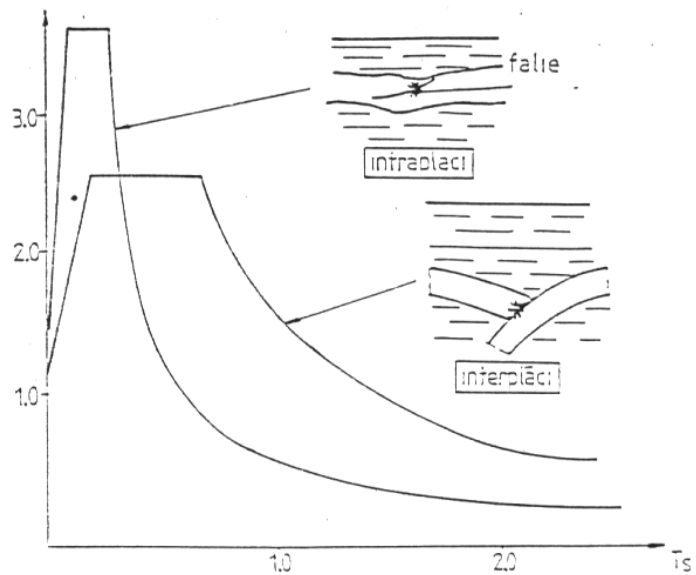


Fig. 4.14. Cutremure inter-placă/intra-placă

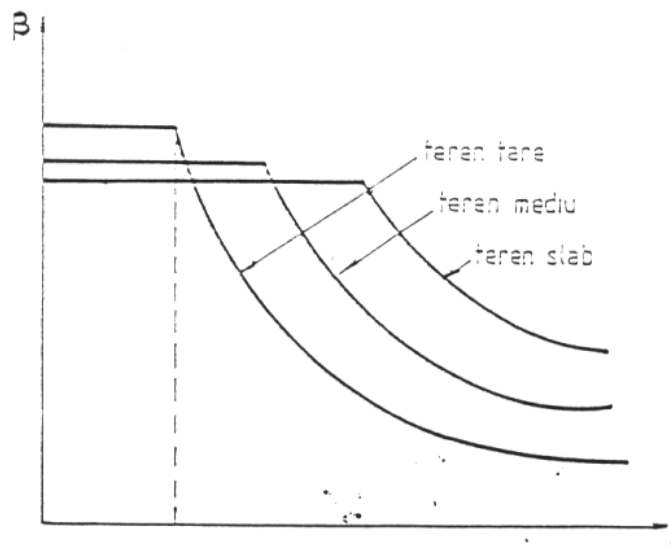


Fig. 4.15. Influența naturii terenului în alura spectrului

**a) Spectre pentru zona seismogenă Banat**

După 1991 s-a înregistrat un număr mare de accelerograme cu componente transversale, longitudinale și verticale, prezentate în tabelul 4.10. și în figurile 1-18 din anexă.

Tabelul 4.10

## Cutremurele bănățene

Locul înregistrării	Data	$a_H$ max	$a_V$ max	Componenta	Figura
Timișoara Fabrica de tramvaie	12.07.91	37,37	8,96	L	A3 a
				T	A3 b
				V	A3 c
Banloc - centru	replică	63,46	27,32	L	A4 a
				T	A4 b
				V	A4 c
Timișoara IAEM	4.12.91	17,14	7,93	L	A5 a
				T	A5 b
				V	A5 c
Banloc - centru	11.12.91	128,18	124,7	L	A6 a
				T	A6 b
				V	A6 c
Banloc - centru	13.10.94	8,63	9,50	L	A7 a
				T	A7 b
				V	A7 c
Banloc - centru	24.08.95	21,32	8,56	L	A8 a
				T	A8 b
				V	A8 c
Banloc - centru	24.03.96	25,12	18,94	L	A9 a
				T	A9 b
				V	A9 c

În figuri sunt marcate data și locul înregistrării, direcția componentei și cele trei caracteristici principale: accelerație, viteză, deplasare.

Analizând aceste înregistrări se pot face următoarele observații:

- pentru cutremurul din 12.07.1991 cu epicentrul în Banloc, care a produs cele mai mari distrugereri, nu există înregistrări decât la Fabrica de tramvaie din Timișoara, la o distanță de circa 40 km față de epicentru;

- dacă se examinează și se compară înregistrările făcute în zona epicentrală cu cele obținute la distanță de epicentru se constată diferențe mari ca tipologie de seism, în primul caz accelerograma având caracter de impuls, în cel de al doilea, mișcarea este ciclică. Se confirmă astfel caracterul acestor tipuri de cutremure de suprafață, cu perioade scurte și un număr redus de cicluri puternice;

- perioadele mișcărilor orizontale și verticale sunt diferite, cele corespunzătoare mișcărilor verticale fiind evident mai scurte, din cauza diferenței de amplificare a undelor P și S;

#### 104 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

- accelerațiile verticale au valori semnificative, care nu pot fi neglijate, în câteva cazuri ele fiind egale sau chiar mai mari decât cele orizontale.

Din păcate, până în prezent nu dispunem decât de o singură prelucrare a accelerogramelor înregistrate în Banat, prezentată sub forma spectrelor de răspuns din figurile, în care s-a reprezentat și spectrul de proiectare din P100-92. Din analiza lor se constată următoarele:

- pentru perioade mici (sub 0,3-0,4 s) prevederile din P100-92 nu sunt suficiente, amplificarea fiind mult mai mare;

- pentru perioadele medii și lungi (peste 0.4 s), diferențele sunt extrem de mari, P100-92 evaluând la valori mult prea mari forțele seismice. Această situație se datorează extinderii concluziilor de la cutremurul Vrancea 1977, cu perioade lungi, pentru întreg teritoriul țării;

- forma spectrului se apropie de cea arătată în figura 4.14 pentru seismele intra-placă, arătând caracterul local al cutremurelor bănățene;

- spectrul din normativul P100-2004 pentru zona Banat este modificat, pentru a modela corect acțiunile seismice.

Având în vedere aceste aspecte, s-a căutat o altă variație pentru spectrul de răspuns pentru zona bănățeană, care să se conformeze principiilor din paragrafele precedente.

Există o formă tipică a acțiunii seismice produse de sursă. Ea poate fi exprimată prin relația:

$$\beta = \frac{1}{T^{1.1}} \leq 3.5 \quad (4.19)$$

de influența terenului se ține seama cu relația:

$$\beta = \frac{S_i}{T^{1.1}} \leq 3.5 \quad (4.20)$$

unde  $S_i$  este factorul terenului, având valorile: 1,0 pentru teren bun, 1,3 pentru teren mediu, respectiv 1,6 pentru teren slab.

Rezultă valorile din tabelul 4.11. Ele sunt reprezentate și în figura 4.16., comparativ cu spectrele înregistrate. Se constată o bună concordanță, componenta longitudinală încadrându-se în categoria terenului bun, cea transversală, în cea a terenului mediu. Această propunere este informativă, trebuind să fie verificată și prin prelucrarea celorlalte accelerograme înregistrate în zona Banatului.

Tabelul 4.11

Perioada T (s)	Spectru pentru zona seismică bănățeană Natura terenului		
	bun	mediu	slab
0,2	3,50	3,50	3,50
0,3	3,50	3,50	3,50
0,4	2,74	3,50	3,50
0,6	1,75	2,28	2,80
0,8	1,28	1,66	2,05
1,0	1,00	1,30	1,60



1,2	0,82	1,07	1,31
1,4	0,69	0,90	1,10
1,6	0,60	0,78	0,96
1,8	0,52	0,68	0,83
2,0	0,47	0,61	0,75
2,2	0,42	0,55	0,67
2,4	0,38	0,49	0,61
2,6	0,35	0,46	0,56
2,8	0,32	0,36	0,51
3,0	0,30	0,39	0,48

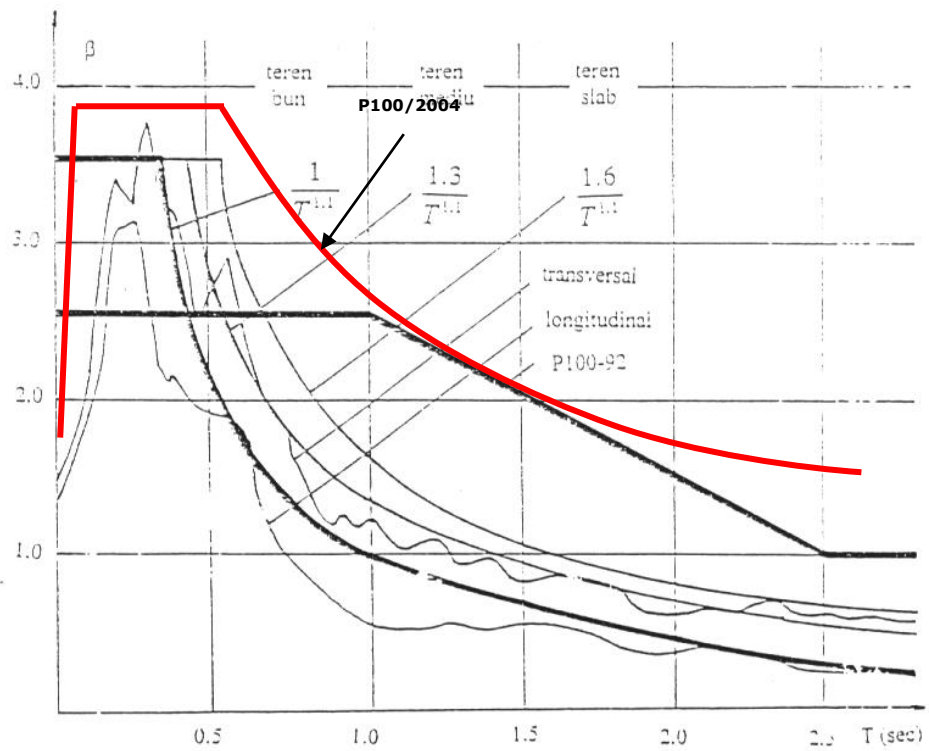


Fig. 4.16. Propunere spectru pentru zona seismică bănăţeană (Gioncu)

### 4.3. CONDIȚII LOCALE DE AMPLASAMENT

#### 4.3.1. Condiții geotehnice

Timișoara este situată în unitatea geo-morfologică Timiș - Bega, unde se întâlnesc depozite cuaternare, cu grosimi importante, de vârstă Pleistocenă și Holocenă (Marin, 2000). Condițiile geotehnice în Timișoara sunt prezentate în detaliu în figura 4.17. (Marin și Boldurean, 2004). Terenul de fundare în Timișoara prezintă următoarele zone caracteristice (Marin și Boldurean, 2004, Marinov, 2000):

- Partea de nord și parțial cea de vest a orașului sunt dominate de argile prăfoase cu grosimi de peste 10 m, caracterizate de o bună omogenitate. Nivelul apei freatice este scăzut.
- Nisipurile fine și nisipuri prăfoase sunt prezente cu precădere în zona de sud a orașului, precum și în părți din estul și sud-estul Timișoarei. Nivelul apei freatice este mai ridicat decât în nord și poate atinge 1 - 2 m sub nivelul terenului. Existența pe arii extinse a nisipurilor fine uniforme și a nivelului ridicat al apei freatice indică un potențial ridicat de producere a fenomenului de "lichefiere" a terenului în timpul seismelor puternice, consecințe nefaste asupra construcțiilor aflate în această zonă.
- Zona cu succesiuni alternative de nisipuri și argile, sub forma unor lentile argiloase în straturi, sau a unor lentile de nisip, fie a unor straturi compacte succesive. Aceste terenuri sunt caracterizate de neomogenitate sporită și de un nivel ridicat al apei freatice, constituind un risc seismic ridicat.
- Zona de umpluturi de grosime mare (4 - 6 m), situate în afara perimetrului vechi cetății. Aceste zone corespund fostelor bălți și brațe ale Begheiului, înainte de asanarea zonei și realizarea canalului Bega.
- Zona centrală corespunzătoare perimetrului vechii cetăți. Această zonă se distinge net de celelalte zone, fiind caracterizată de o neomogenitate foarte pronunțată și având riscul seismic cel mai ridicat. Se pot distinge două subzone, bine definite:
  - subzona cuprinsă în interiorul fostelor ziduri ale cetății, în care sunt umpluturi de grosimi variabile,  $h = 3 - 6\text{m}$ , așezate pe fundul unor bălți și vechi albi ale Begheiului.
  - subzona care corespunde inelului cuprins între zidurile cetății și zidurile exterioare de apărare. Această subzonă se caracterizează printr-o neomogenitate pronunțată datorată alternării fundațiilor de apărare cu șanțurile de apărare (cu umpluturi de pământ adânci).

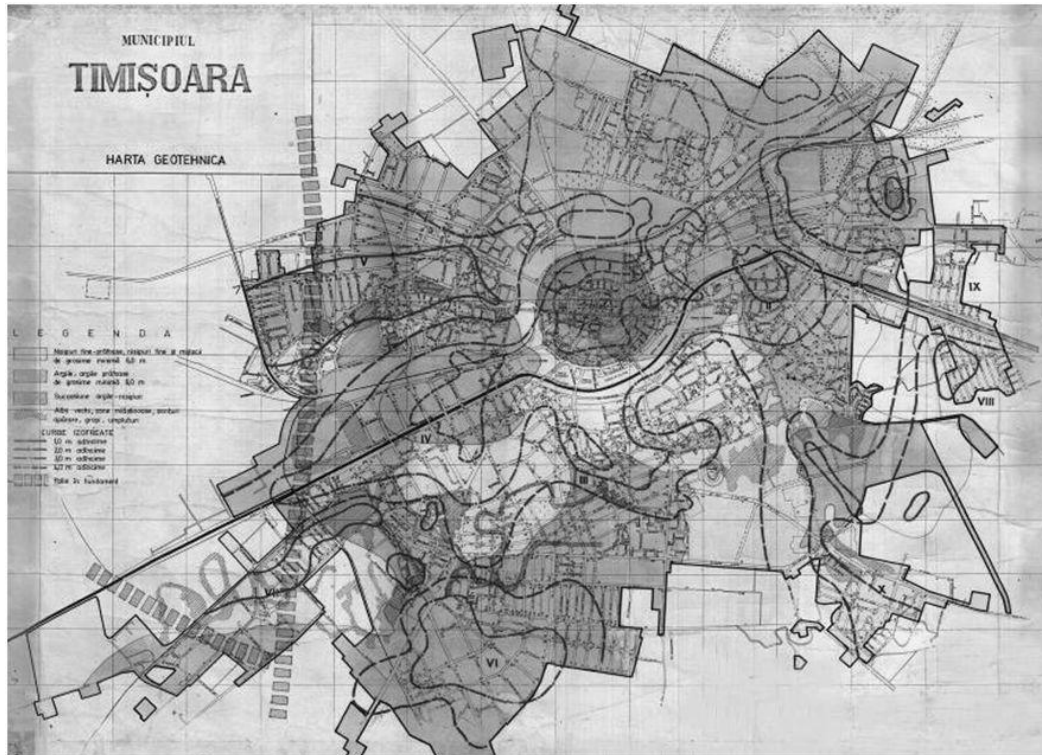


Fig. 4.17. Harta geotehnică a Timișoarei

Analiza condițiilor geotehnice dintr-un teritoriu reprezintă o direcție esențială pentru perfecționarea normativelor de calcul și de confirmare a construcțiilor amplasate în zona seismice. Municipiul Timișoara este amplasat în Câmpia Banatului și este străbătut de Canalul Bega. În general, partea din sudul Canalului Bega până în apropierea de râul Timiș este alcătuit din pământuri nisipoase, în multe zone cu grad redus de îndesare și nivelul ridicat al apei subterane.

Partea cea mai înaltă, spre nord, este caracterizată de condiții de teren mai tare, predominant argilos. Partea superioară a cuaternarului-holocenul acoperă zona Municipiului Timișoara pe o grosime de 10...20 m, reprezentând acumulările aluvionare constituite din pietriș, nisipuri și argile în general nisipoase și prăfoase.

Grosimea straturilor de teren care trebuie considerate la evaluarea caracteristicilor dinamice ale pământului în diferite amplasamente din oraș de circa 120...150 m până la stratul de microgresie cenușie cu ciment argilos.

Condițiile de fundare pe amplasamentul Timișoarei sunt corecte ilustrate de harta geotehnică (Figura 4.17.) în care se disting următoarele zone caracteristice:

#### 108 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

1. Zona de sud a oraşului este dominată de nisipuri fine-prăfoase, nisipuri fine și mijlocii de grosime minimă 6,0 m, la care se adaugă o serie de „insule”, amplasate atât în estul cât și în sud-vestul localității. Nivelul apei subterane este ridicat, ajungând până la 1...2 m față de nivelul terenului.  
Existența pe zone întinse a nisipurilor fine (uniforme) și nivelul ridicat al apei subterane, în cazul unor cutremure puternice, sunt posibile fenomene de „lichefiere”, cu efecte deosebit de grave asupra construcțiilor din amplasament. De asemenea, în cazul nisipurilor afânate sunt posibile tasări instantanee diferențiate cu efecte negative asupra rezistenței și stabilității construcțiilor.
2. Zona din nordul și parțial vestul oraşului este dominată de argile prăfoase pe grosimi ce depășesc 10,0 m, caracterizată printr-o omogenitate relativ bună. Nivelul apei subterane este coborât.
3. Pe amplasamentul Timișoarei sunt mai multe zone cu succesiuni de argile și nisipuri, sub forma unor lentile de nisip în straturi de nisip. Caracteristica acestor terenuri este neomogenitatea accentuată și nivelul ridicat al apei subterane, reprezentând un risc mărit pentru construcții în cazul acțiunilor seismice.
4. Zone cu umpluturi de grosime mare, cuprinsă între 3...6 m situat în interiorul și în jurul zidurilor cetății, executate pe fondul unor bălți și vechi albii (brațe) ale Begheiului, înainte de asanarea și construcția canalului Bega. Gradul de compactare și neomogenitate a umpluturilor conduc la un risc seismic ridicat.

#### **4.3.2. Elemente care caracterizează comportarea terenului la solicitări dinamice**

Pe baza forajelor de adâncime pentru prospecțiuni hidrogeologice și a forajelor geotehnice, pe amplasamentul Timișoarei au fost evidențiate condiții de teren diferite, ilustrate de cele două profile de teren (Figura 4.18.) și datele din Tabelul 4.12.

Spectrele de răspuns pentru accelerații rezultate din înregistrările bănățene au ordonatele spectrale maxime în spectrele de accelerații pentru perioade sub 0,5 s ( $\approx 0,25$  s ) pentru profilul predominant nisipos din sudul Timișoarei (sud de Canalul Bega, înregistrările prelucrate de la stațiile Fabrica de Tramvaie și IAEM).

Tabelul 4.12  
Structura granulometrică pentru diverse foraje, A – argilă; N – nisip

Adâncime foraj [m]	ISIM		CET		UTT		UMT	
	A %	N %	A %	N %	A %	N %	A %	N %
50	32	68	33	67	80	20	86	14
100	47	57	48	52	77	23	81	19

Pentru zona cu terenuri din nordul Timișoarei este posibil ca spectrele de accelerații să aibă ordonatele maxime pentru perioade mai mari de 0,5 s.

Datele actuale, din cercetări similare, ne arată că ultimii 50...60 m de la suprafața terenului sunt hotărâtori în definirea amplasamentelor din oraș în ambele situații (zone preponderent argiloase sau nisipoase).

1. Profilul de teren predominant argilos (80 % ... 86 %) în nordul Timișoarei (Calea Torontalului - Calea Aradului - Calea Lipovei);
2. Profilul de teren predominant nisipos (67 %...80 %) din zona a canalului Bega.

Pe baza forajelor geologice, de care dispunem (peste 50) și a prospecțiunilor geotehnice de pe amplasamentul Timișoarei se pot aprecia următoarele:

- 50...60 m grosimea straturilor care definesc caracteristicilor de comportare a terenului la solicitări dinamice (mișcări seismice);
- densitatea medie a terenului  $\rho = 1,9...2,0 \text{ g/cm}^3$ ;
- viteza undelor  $V_p = 350 \text{ m/s}$  și  $V_s \cong 200 \text{ m/s}$ ;
- fracțiunea din amortizarea critică  $D = 12 \%$  pentru nisipuri și  $8 \%$  pentru argile, în cazul cutremurelor bătășene  $\gamma = 10^{-2} \dots 10^{-1} \%$

Conform datelor de mai sus se obțin următoarele perioade proprii:

- în cazul undelor principale P (de compresiune):

$$T_t^P = \frac{4.H}{(2n-1).V_p} = \frac{4.50}{(2n-1).350} = \frac{0,571}{2n-1} \quad (4.21)$$

rezultă

$$T_1^P = 0,571 \text{ s}, T_2^P = 0,19 \text{ s}, T_3^P = 0,114 \text{ s} \quad (4.22)$$

- pentru undele secundare (de forfecare)

$$T_t^S = \frac{4.50}{(2n-1).200} = \frac{1,0}{2n-1} \quad (4.23)$$

$$T_1^S = 1,0 \text{ s}, T_2^S = 0,33 \text{ s}, T_3^S = 0,20 \text{ s} \quad (4.24)$$

Analizând perioadele undelor seismice (P și S) se constată că acestea au un domeniu larg de manifestare de la 0,114 s la 1,0 s, în cazul discontinuității scoarței terestre fenomenul se modifică substanțial iar prezența construcțiilor complică fenomenul de interacțiune.

Aspectul fundamental îl reprezintă acoperirea domeniului de rezonanță dintre perioadele undelor seismice, ale perioadelor terenului din amplasamentul liber și al construcției împreună cu masa de teren din zona activă din timpul cutremurului.

Rezonanța dintre perioadelor undelor seismice și cele ale terenului se produce având la bază factorul de amplificare.

$$H_n = 4 / (2n-1).n . 1/2D \quad (4.25)$$

## 110 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

Pentru undele principale P (de compresiune) în cazul zonei predominant nisipoase:

$$H_1 = \frac{4}{1.3,14} \cdot \frac{100}{2.12} = 5,30, \text{ pentru } T_1^P = 0,571 \text{ s} \quad (4.26)$$

$$H_{21} = \frac{4}{3.3,14} \cdot \frac{100}{2.12} = 1,77, \text{ pentru } T_2^P = 0,19 \text{ s} \quad (4.27)$$

Se poate spune că undele seismice cu perioadele cuprinse între 0,2 s și 0,6 s vor fi amplificate la suprafața terenului cu un coeficient de 1,77...5,3, rezultând o valoare medie a coeficientului de amplificare de 3,55. Undele cu valori mai mici de 0,2 s vor fi atenuate.

În cazul zonelor predominant argiloase situate în partea de nord a Municipiului Timișoara coeficientul de amplificare va crește deoarece fracțiunea din amortizarea critică scade ( $H_{argilă} > 3,55 = H_{nisip}$ ).

Una dintre cele mai importante probleme privind proiectarea construcțiilor amplasate în zone seismice o reprezintă selectarea tipului de cutremur. Parcurgerea acestei etape deosebite presupune o cooperare multidisciplinară și corelarea datelor geotehnice, geologice, tectonice și seismotectonice, geofizice, seismologie inginerescă etc., precum și evaluarea factorilor de risc.

În regiunea Banat accelerația componentei orizontale  $a_H$  și accelerația maximă reprezintă valori pentru mișcări seismice cu bandă lată și intermediară de frecvențe, având valori relative mici, sau cel mult medii, pentru perioadele de control  $T_c$  (de exemplu,  $T_c \leq 0,6$  s).

Pentru studiile de perspectivă privind microzonarea seismică trebuie ținut cont că pe teritoriul municipiului Timișoara sunt cel puțin două structuri geotehnice: una în partea de sud, în care predomină nisipurile fine-prăfoase, nisipurile fine și mijlocii de grosime maximă 6,0 m, saturate și pe alocuri cu potențial de lichefiere (zona CET Timișoara) și a doua zonă în partea de nord unde predomină argilele prăfoase, cu grosimea minimă de 6 - 8 m.

Conform analizelor seismologice ale dalelor culese din cele mai vechi timpuri și până în prezent rezultă faptul că seismicitatea din zona Timișoarei este determinată în principal de cutremurele bănățene, și nu de cele vrâncene.

Studiul condițiilor tectonice și seismotectonice locale evidențiază faptul că în amplasamentul Timișoarei sau în imediata apropiere nu există o falie activă, care să pericliteze rezistența și stabilitatea construcțiilor existente sau viitoare, în mod excepțional.

### **4.3.3. Instrumentarea seismică a zonei Banat – Timișoara. Foraje geotehnice. Rezultate**

Mișcările seismice și efectele asupra construcțiilor sunt fenomene extrem de complicate, încă insuficient clarificate ca mecanism de sursă, recurență, propagare de unde, efecte locale de amplasament, comportarea neliniară a construcțiilor, etc. Este obligatoriu de aceea să se obțină informații din înregistrările cutremurelor reale [26].

Instrumentarea seismică a zonei bănățene dispune de un număr limitat de accelerograme înregistrate în orașul Timișoara (2 stații, la fabrica de tramvaie și IAEM) și Banloc (stația centru).

Chiar dacă înregistrările, respectiv spectrele răspuns determinate din aceste înregistrări indică mișcări seismice de relativ mică intensitate, activitatea seismică intensă din ultimii ani în această zonă indică necesitatea monitorizării adecvate a întregului teritoriu bănățean.

În cadrul programului NUCLEU în Timișoara au fost realizate două foraje tubate cu lungimea de 35 m în două zone caracteristice din punct de vedere geotehnic pentru municipiul Timișoara în vederea echipării lor senzori seismici pentru monitorizarea din punct de vedere seismic a orașului și a zonei sale metropolitane. Cele două foraje au fost amplasate astfel:

- foraj F1 în zona de sud a orașului în incinta INCERC Timișoara. În această zonă din punct de vedere geotehnic predomină nisipurile cu diverse grade de îndesare.
- foraj F2 în zona de nord a orașului în incinta Institutului Agronomic Timișoara. În această zonă predomină terenurile argiloase.

Pentru studiul celor două zone au fost efectuate studii geotehnice și măsurători geofizice.

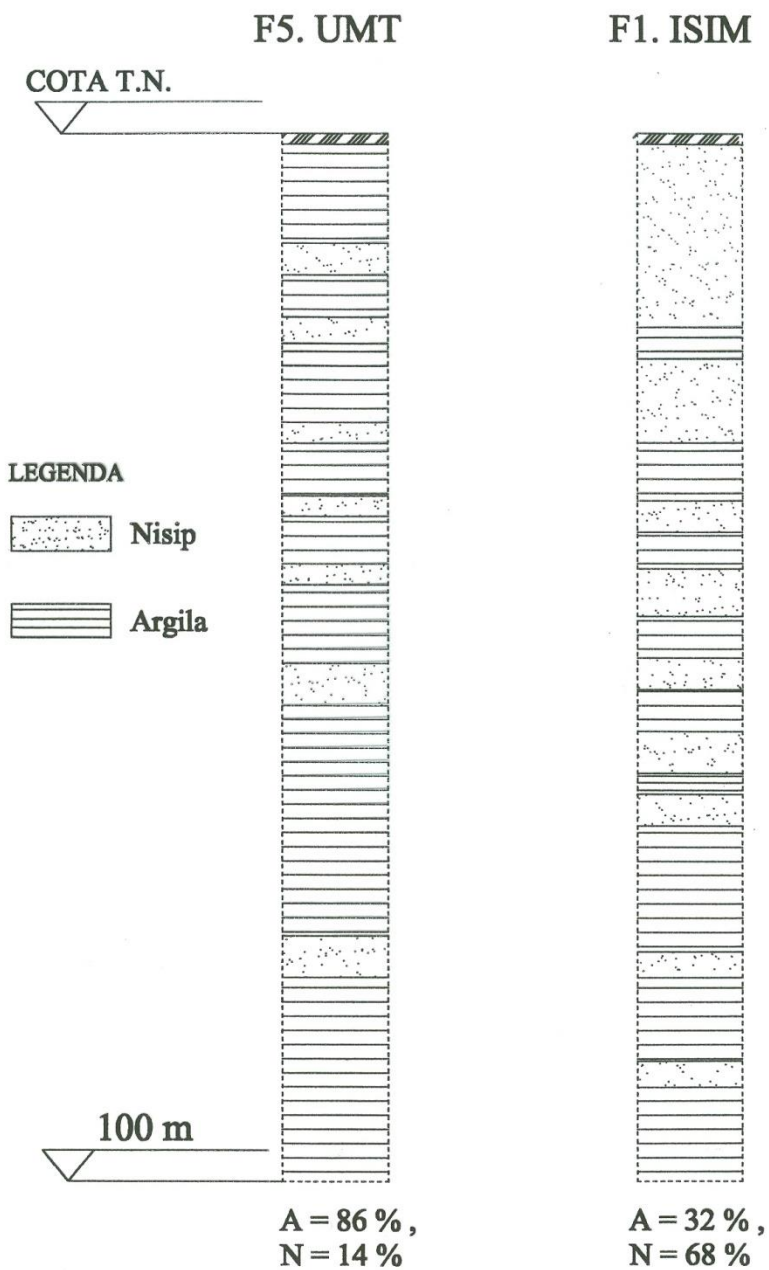


Fig. 4.18. Profile geotehnice caracteristice pentru Timișoara



- **Studii geotehnice**

Pentru studiul geotehnic al celor două amplasamente au fost recoltate probe tulburate și netulburate iar prin încercări de laborator au fost stabilite stratificațiile și caracteristicile fizico-mecanice ale straturilor ce alcătuiesc aceste stratificații.

Pentru cele două amplasamente au rezultat următoarele stratificații:

**Foraj F1**

Amplasament : zona de sud a municipiului Timișoara în incinta INCERC Timișoara

- Sol vegetal și umplură
- Praf argilos maroniu
- Nisip prăfos gri
- Argilă plastic gri
- Nisip mare și mijlociu cu pietriș gri
- Argilă vârtoasă gri maronie
- Nisip prăfos mijlociu și mare cu pietriș gri
- Nisip argilos gri
- Nisip prăfos gri
- Praf nisipos argilos gălbui

**Foraj F2**

Amplasament : zona de nord a municipiului Timișoara în incinta Institutului Agronomic Timișoara

- Teren vegetal
- Argilă prăfoasă neagră
- Argilă prăfoasă maronie-gri cu intercalații de calcar
- Argilă prăfoasă gri - cărămie
- Argilă prăfoasă gri
- Argilă plastic vârtoasă maro cu calcar la -9.30 m
- Nisip prăfos gri maroniu
- Nisip fin maro
- Nisip cu pietriș gri
- Praf argilos plastic vârtos gri maroniu cu intercalații de calcar
- Nisip prăfos gri maro
- Argilă plastic tare gri maronie
- Argilă plastic vârtoasă gri
- Argilă plastic vârtoasă neagră-maro
- Argilă plastic vârtoasă gri maronie
- Argilă plastic tare cărămie gri
- Argilă prăfoasă nisipoasă maronie
- Argilă nisipoasă cărămie
- Nisip mijlociu și fin gri
- Argilă prăfoasă maro
- Argilă nisipoasă gri cu concrețiuni calcaroase
- Argilă prăfoasă maronie-gri

- **Măsurători geofizice**

Executarea de măsurători seismice în situ în cele 2 foraje prin colaborarea INCERC - CNRRS a fost realizată prin metoda geofizică de prospectare a terenului utilizând o metodă de tip down-hole.

Această metodă se bazează pe faptul că semnalul seismic produs la suprafața terenului este înregistrat de un senzor în interiorul forajului, testul repetându-se pentru diferite adâncimi. Impulsul de la suprafața terenului este creat pentru a produce unde seismice longitudinale, de compresiune (P) și separat, unde seismice transversale, de forfecare (S).

Din analiza timpilor de sosire a undelor seismice, în corelație cu stratigrafia interceptată în foraj, se poate obține profilul vitezelor undelor seismice

### **Echipamente utilizate pentru realizarea măsurătorilor**

Echipamentul pentru măsurătorile în situ de viteze prin metoda down-hole este fabricat de Tokyo Soil Research Co., Ltd și este alcătuit din:

1. Stația de achiziție (GEODAS):
  - Preamplificator;
  - AD convertor;
  - laptop Compaq;
2. PS Logging Sensor (SPUM) Moving coil type velocity seismometer:
  - 3 componente (2 orizontale și 1 verticală);
  - sensibilitate - 0.075 V/cm/s;
  - banda de frecvențe 28 - 300Hz;
  - greutate - 4.4kg;
  - dimensiune  $\Phi 60 \times 420$ mm;
3. Accesorii
  - ciocan acționat mecanic;
  - baterie portabilă;
  - tub de azot împreună cu distribuitorul de gaz;
  - placă și pilot de lemn;
  - software pentru analiza de semnal;

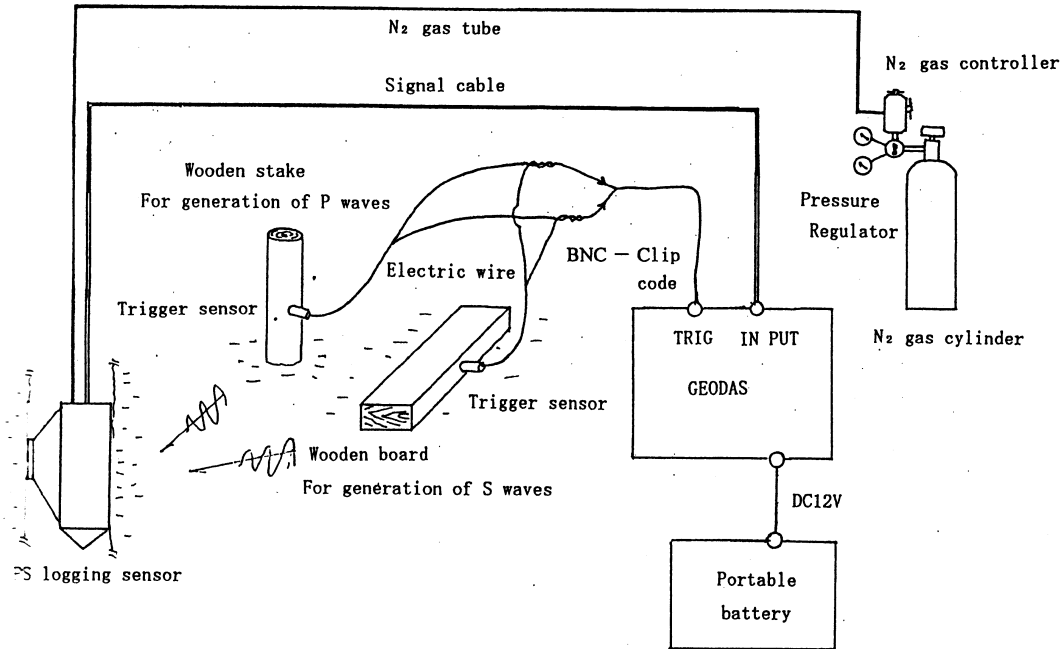


Fig. 4.19. Conectarea componentelor pentru realizarea măsurătorilor de tip down-hole

- **Programe de calcul utilizate. Programul de achiziție**

Sistemul de măsurare și înregistrare PsLogE este caracterizat prin următoarele proprietăți:

- Măsurătorile se pot efectua simultan la trei canale
- Rata de achiziție poate fi setată de la 1kHz până la 5kHz
- Timpul de măsurare poate fi liber
- Măsurătorile în timp real pot fi arătate pe ecranul calculatorului

Programul de achiziție face posibilă utilizarea unor tipuri diferiți de senzori iar caracteristicile de sensibilitate ale senzorilor pot fi introduse.

Pentru fiecare amplasament studiat se vor prezenta setările Stației de achiziție (GEODAS) și distanțele de la foraj până la punctele de lovire ale plăcii respectiv pilonului de lemn.

## 116 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

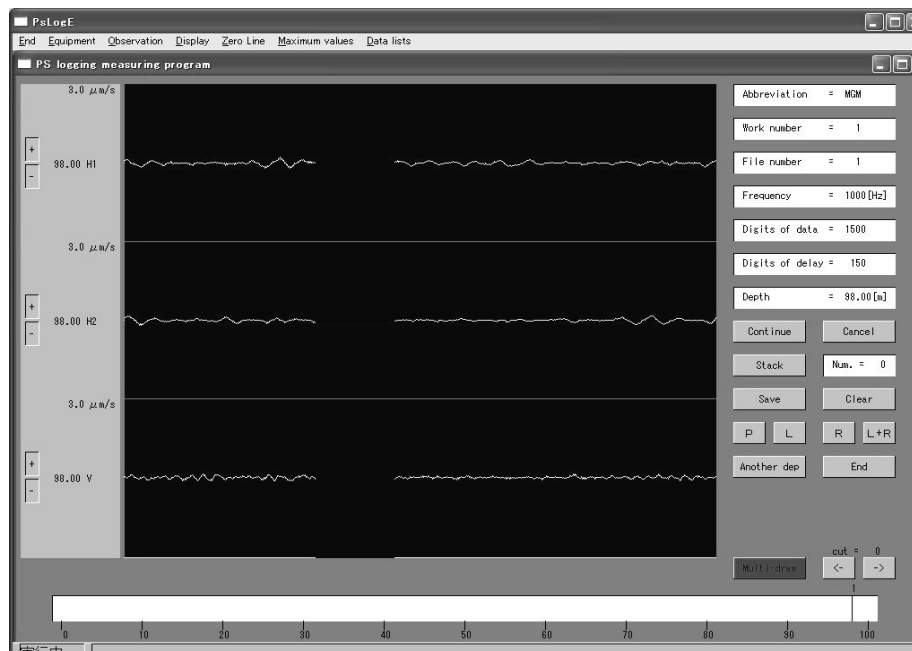


Figura 4.20. Soft de achiziție semnal instalat pe stația de achiziție (GEODAS)

- **Programul de procesare a înregistrărilor**

Softul utilizat pentru analiza datelor înregistrate este PS Start. Pașii necesari pentru analiza și interpretarea datelor înregistrate pentru fiecare amplasament sunt arătați în figurile 4.22. și 4.23.

Prima etapă în analiza datelor înregistrate include:

- *Convertirea datelor* – Înregistrările undelor P și S sunt aranjate în conformitate cu adâncimea (de la suprafață în adâncime). Undele sunt sortate și convertite.
- *Vizualizarea undelor* – După realizarea convertirii datelor se vizualizează undele finale în raport de timp și de adâncime.
- *Printarea undelor* – Pentru printare softul permite setarea adâncimii și a timpului, figura 4.24.

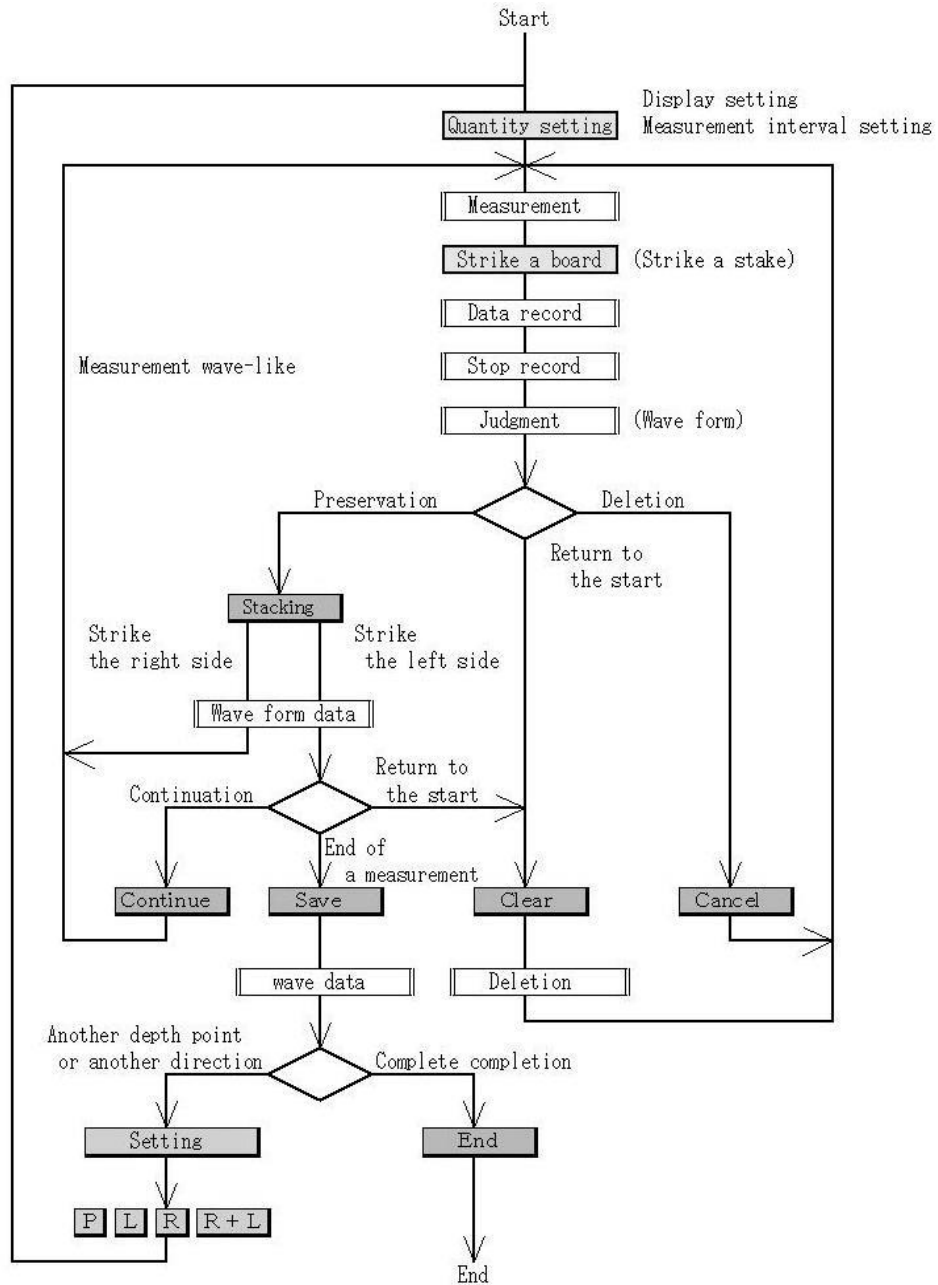


Fig. 4.21. Derularea etapelor pentru realizarea măsurătorilor

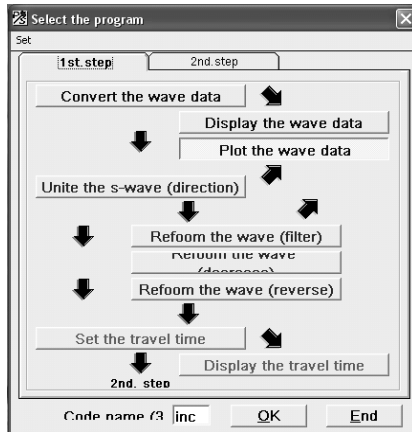


Fig. 4.22. Prima etapă în analiza datelor

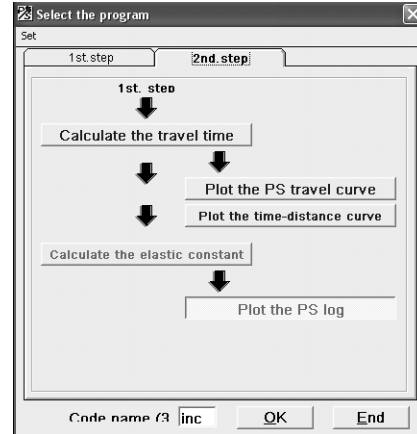


Figura 4.23. A doua etapă în analiza datelor

Figura 4.24. Printarea undelor

- *Unificarea direcțiilor pentru undele S* – Pentru fiecare direcție a unei S trebuie realizată o corecție a azimutului (orizontalizarea axelor). Trebuie ales unghiul după sosirea undei. De asemenea trebuie luate în considerare perturbațiile datorate zgomotului. Din înregistrarea formei undei cu un raport semnal/zgomot îmbunătățit pentru componentele X și Y, orbita particulei poate fi cunoscută (Figura 4.25.).

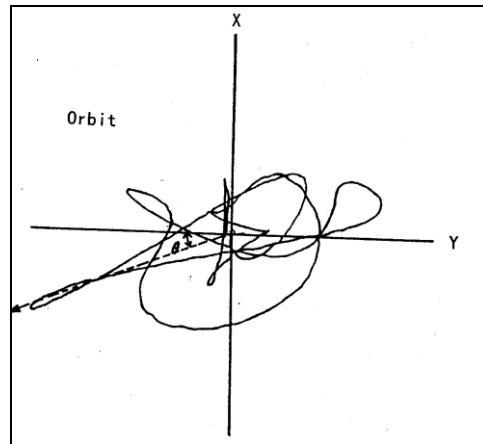


Fig. 4.25. Transformarea coordonatelor (orbita particulei)

- **Rezultate:**

**1. F1- Amplasament sediul INCERC filiala Timișoara**



Fig. 4.26. Confirmarea poziției pe teren a forajului F1

## 120 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

tm1

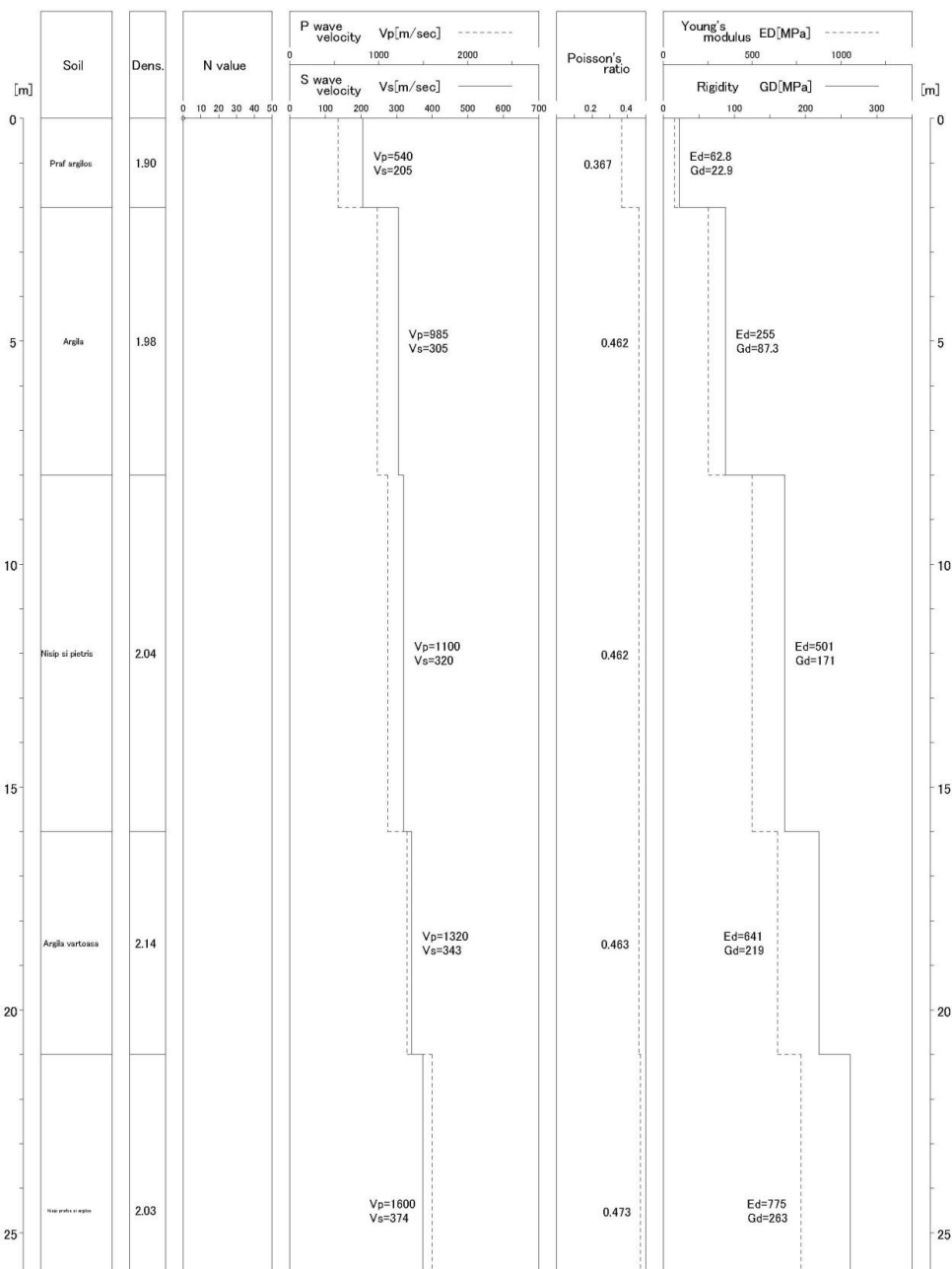


Fig. 4.27. Caracteristici pentru pământul din forajul F1



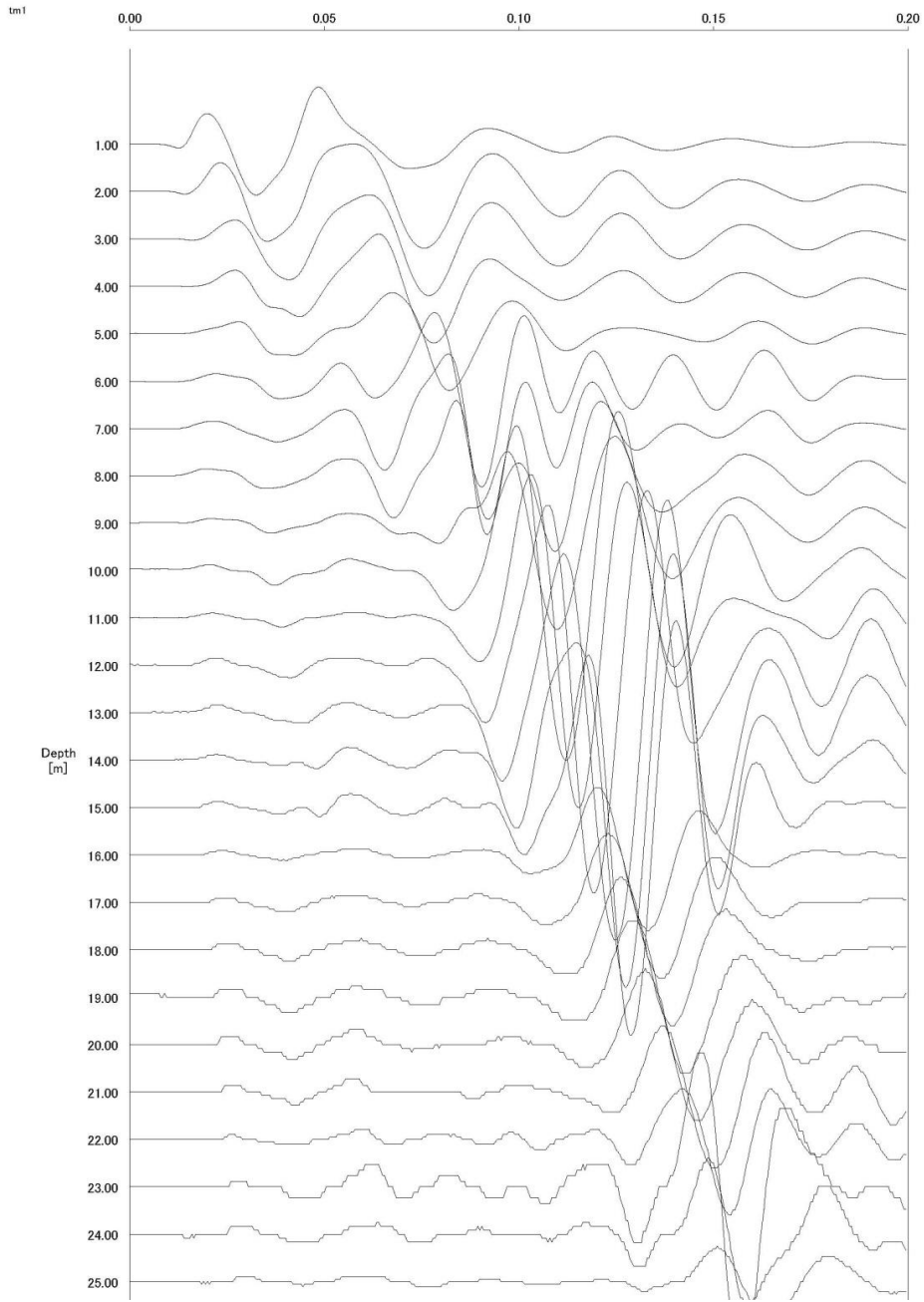


Fig. 4.28. Forma undelor principale P în forajul F1

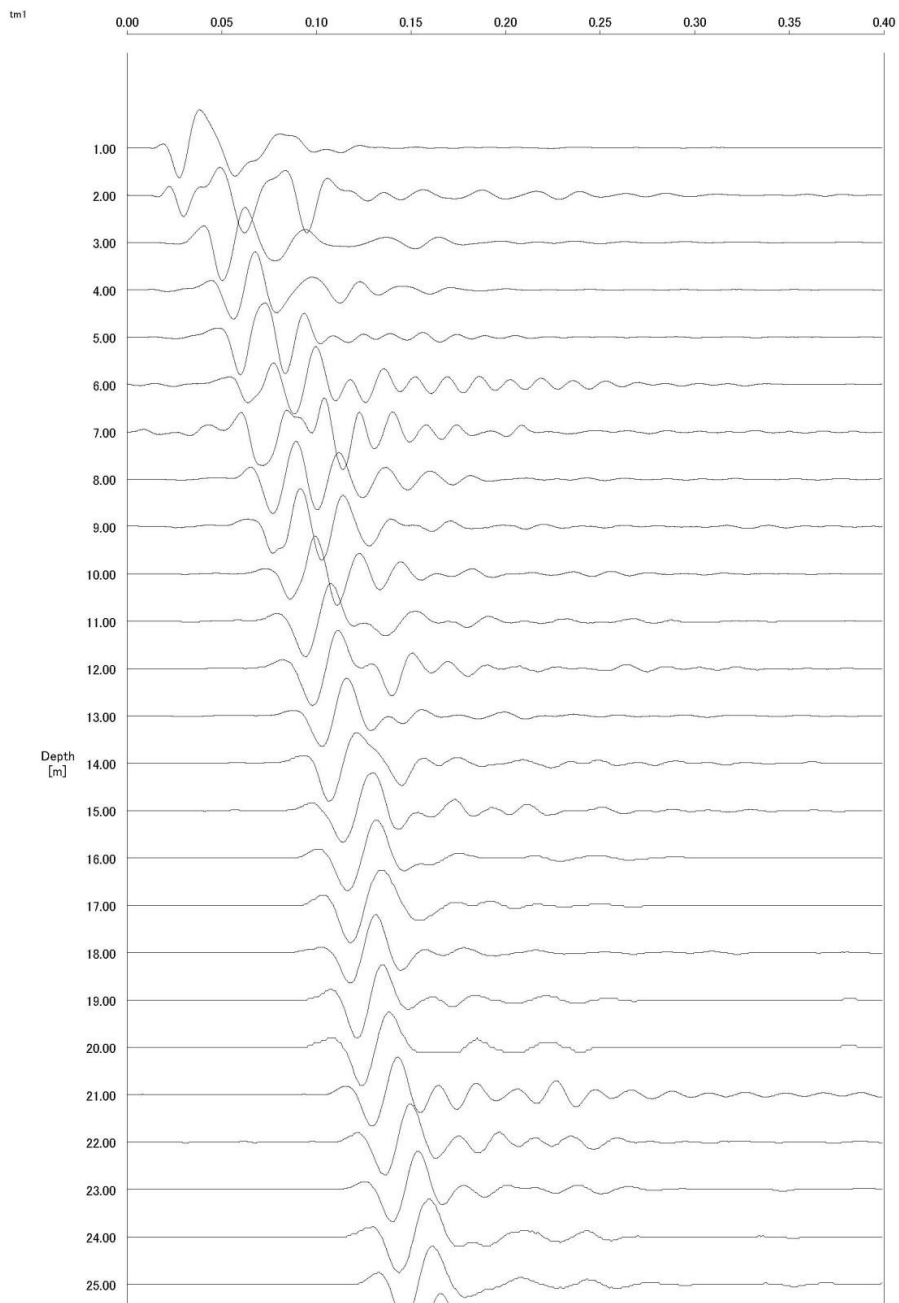


Fig. 4.29. Forma undelor secundare S în forajul F1

**2. F2- Amplasament "Facultatea de Agronomie"**



Fig. 4.30. Confirmarea poziției pe teren a forajului F2

124 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

tm2

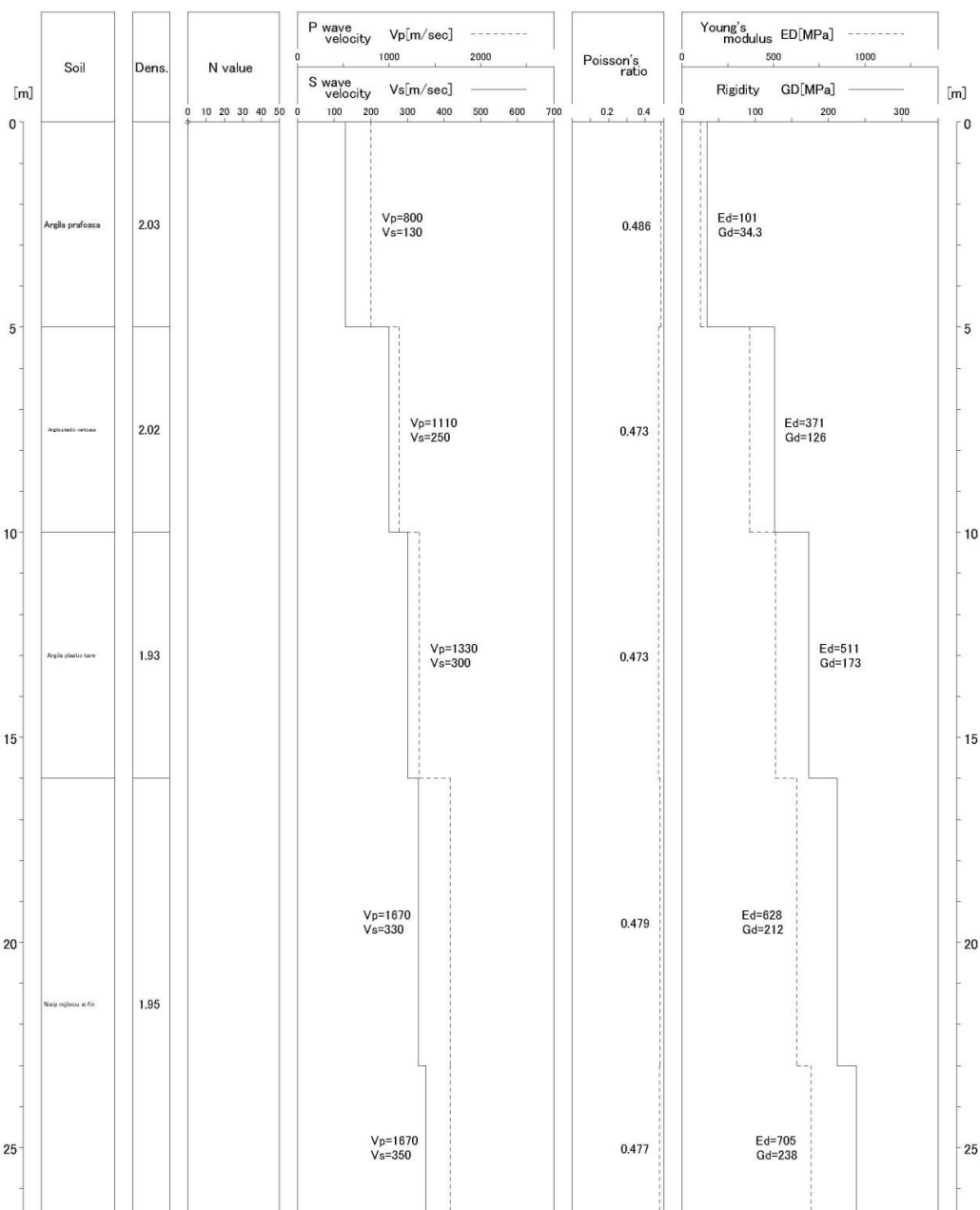


Fig. 4.31. Caracteristici pentru pământul din forajul F2

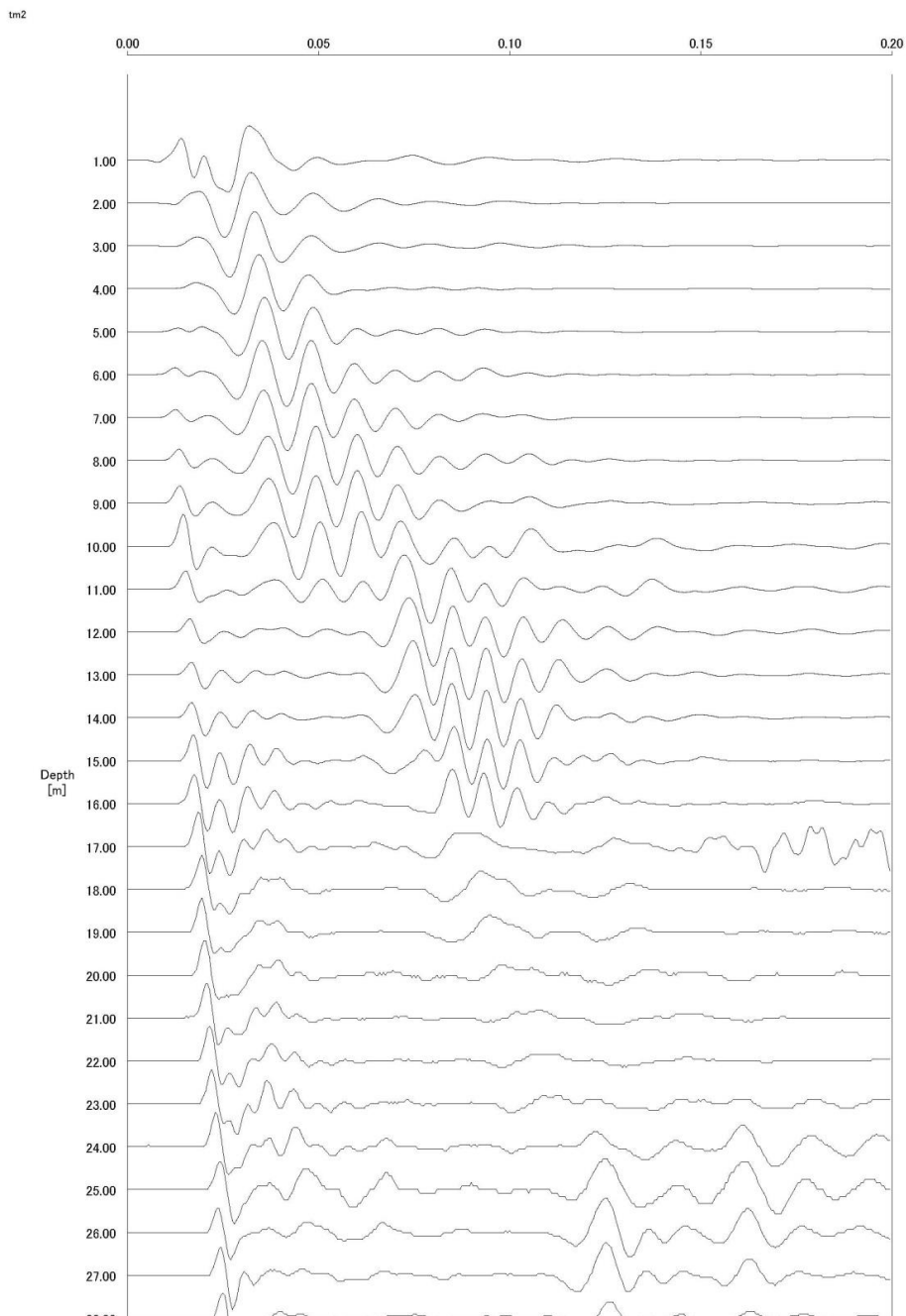


Fig. 4.32. Forma undelor principale P în forajul F2

126 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

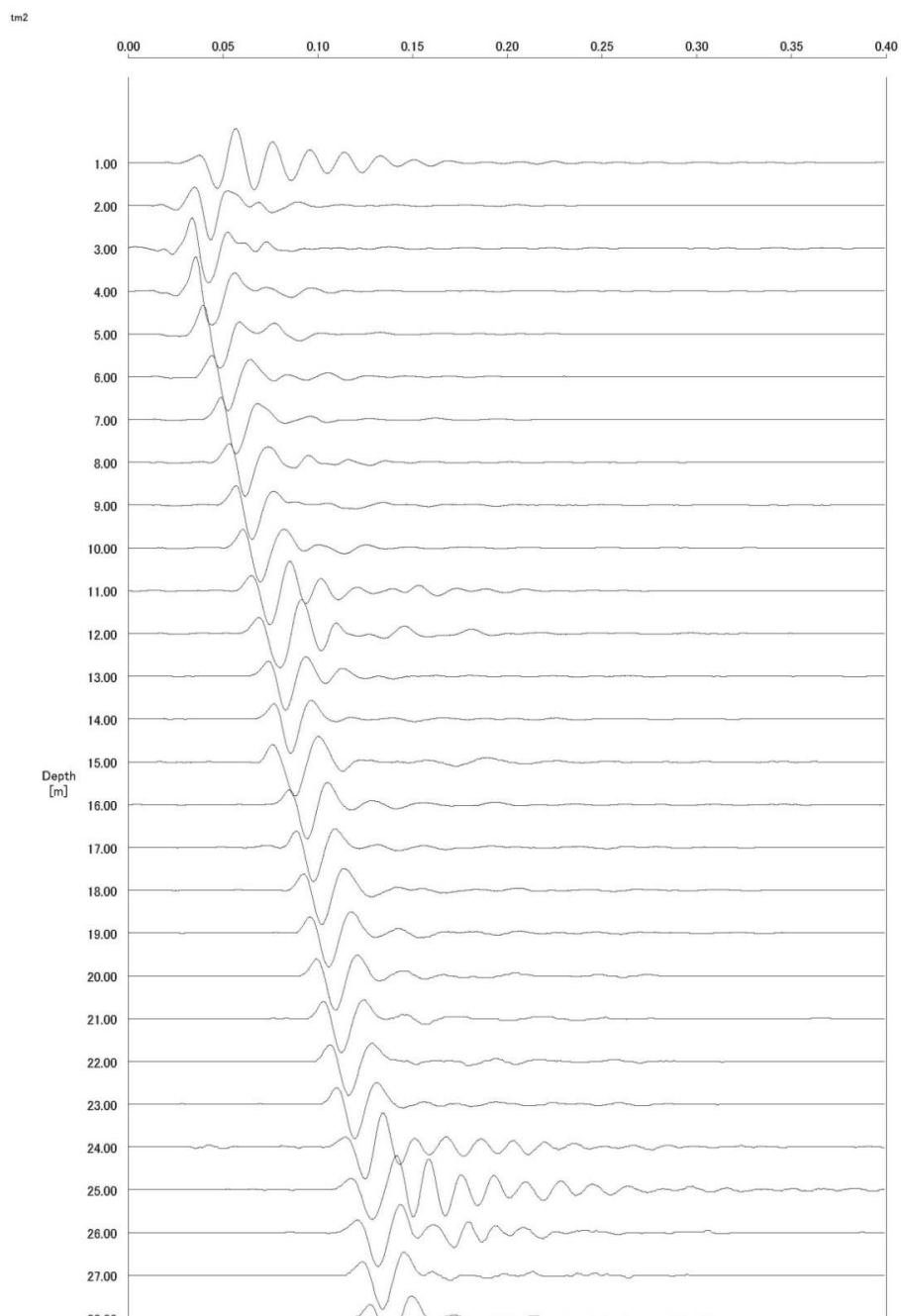


Fig. 4.33. Forma undelor secundare S în forajul F2

#### 4.4. Concluzii

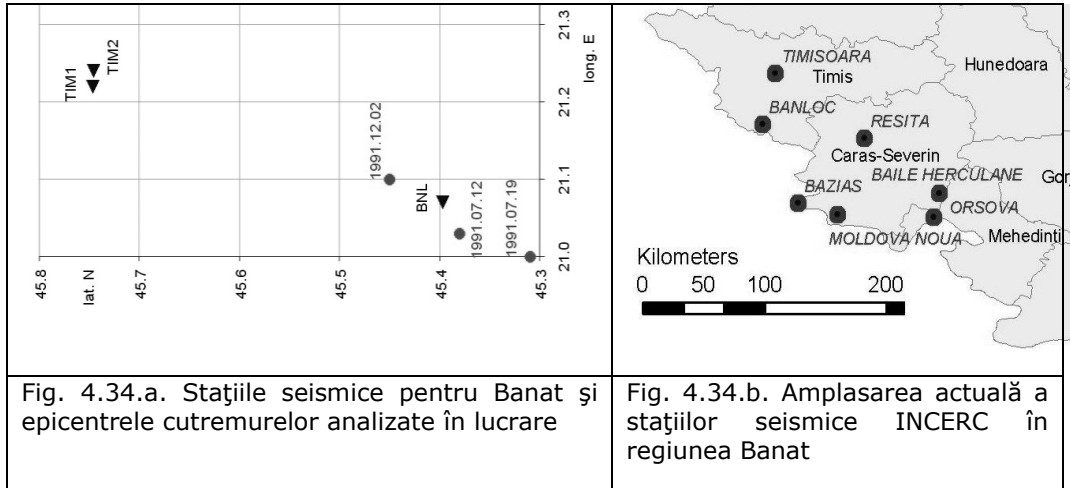
În literatura de specialitate există propuneri pentru diferențierea spectrelor inter-plăci și intra-plăci. Spectrul bănățean rezultat din accelerograma înregistrată la Timișoara în 12 iulie 1991 arată clar caracterul cutremurului intra - placă din aria bănățeană. Accelerogramele înregistrate în cursul mai multor evenimente seismice din zona Banat indică faptul că acțiunea este de tip impuls în zona epicentrală, spre deosebire de seismele vrâncene, care sunt ciclice.

Elaborarea variantei P100-1/2006 a îmbunătățit situația, prin aceea că introduce spectre normalizate de răspuns elastic pentru cutremure având o perioadă medie de revenire de 100 ani și condiții de teren diferențiate, caracterizate simplificat prin perioade de colț  $T_C$  de 0,7, 1,0, respectiv 1,6 s. Perioada de colț a spectrului de răspuns de proiectare pentru zona bănățeană este de 0,7 s. Totuși analiza înregistrărilor relativ puține la număr pentru seismele din jurul Timișoarei ca și testările numerice și spectrele artificiale studiate la INCERC Timișoara au dovedit că valorile maxime ale accelerațiilor absolute sunt mai mari decât limita din propunerea făcută.

De aceea este foarte important ca acțiunea de realizare a unei rețele moderne pentru urmărirea cutremurelor vrâncene să fie extinsă și în aria bănățeană, în care s-au manifestat mișcări importante în ultimii ani, cu focare activate în zone diferite ale Banatului.

În ceea ce privește municipiul Timișoara, pentru început s-au ales două locații caracteristice, una în zona de nord a orașului, în care predomină terenurile argiloase și una în zona de sud (delimitate de râul Bega care străbate orașul) în care predomină nisipurile. Pe aceste amplasamente au executat foraje de adâncime, cu recoltări de probe și analize geotehnice a acestora și forajul F1 (din incinta INCERC Timișoara - zona de sud a orașului) a fost instrumentat în colaborare cu INCERC București cu un senzor de adâncime și aparatura aferentă achiziției și prelucrării datelor pentru înregistrările seismice. Întreaga aparatură a fost conectată la un calculator care va asigura stocarea datelor și astfel se va asigura monitorizarea seismică permanentă a Timișori, a zonei sale metropolitane și în general a zonelor bănățene limitrofe.

Dintre hazardurile naturale, hazardul seismic are efecte dintre cele mai dezastruoase asupra mediului construit și societății umane. Începând cu a doua jumătate a anului 1991 s-a produs în Banat o serie de cutremure neobișnuit de puternice pentru zona respectivă. Cutremurele cele mai importante s-au produs în zilele de 12 iulie 1991 ( $M=5,7$ , epicentrul în zona Banloc), 18 iulie 1991 ( $M=5,6$ , epicentrul în zona Topleț - Herculane) și 2 decembrie 1991 ( $M=5,7$ , epicentrul în zona Voiteg). Deși aceste cutremure, datorită magnitudinii lor destul de limitate, nu au avut efecte distrugătoare pe scară largă, ele s-au situat la nivelul unora dintre cutremurele cele mai puternice observate în regiune în ultimele două - trei secole.



Evenimentele seismice bănățene din ultimul timp au readus în actualitate seismicitatea destul de ridicată a zonei respective și necesitatea adoptării unor norme fundamentate pentru protecția antiseismică în condițiile specifice regiunii.

Inițiată în anul 1969, când a fost achiziționat primul aparat de înregistrare automată a cutremurelor puternice, rețeaua seismografică INCERC include, în prezent, 71 accelerografe analogice SMA - 1 (61 amplasate la nivelul solului, 10 montate la partea superioară a construcțiilor (etajele 4 - 11, etajele ultime ale construcțiilor respective). Stațiile dotate cu accelerografe SMA-1, componente ale rețelei accelerografice INCERC sunt amplasate în 47 localități, acoperind practic zonele cu seismicitate ridicată ale țării. Accelerografele analogice SMA-1 din rețeaua INCERC furnizează înregistrări pe peliculă fotografică. În timpul ultimelor cutremure bănățene s-au obținut înregistrări fotografice utilizabile, înregistrări care au fost digitizate și prelucrate, în stațiile seismice INCERC amplasate la Banloc (Primăria) și Timișoara (2 stații TIM1 în Bd. Dâmbovița și TIM2 în Calea Buziașului).

Informația seismică primară a fost digitizată și prelucrată standard (corecții și filtrări), obținându-se rezultate de utilitate inginerească directă:

- înregistrări numerice de tipul istoriilor în timp (accelerograme, vitezograme, seismograme de deplasări);
- spectre de răspuns seismic, pentru accelerații absolute, viteze relative, pseudoviteze relative, deplasări relative etc.;
- spectre de intensități;



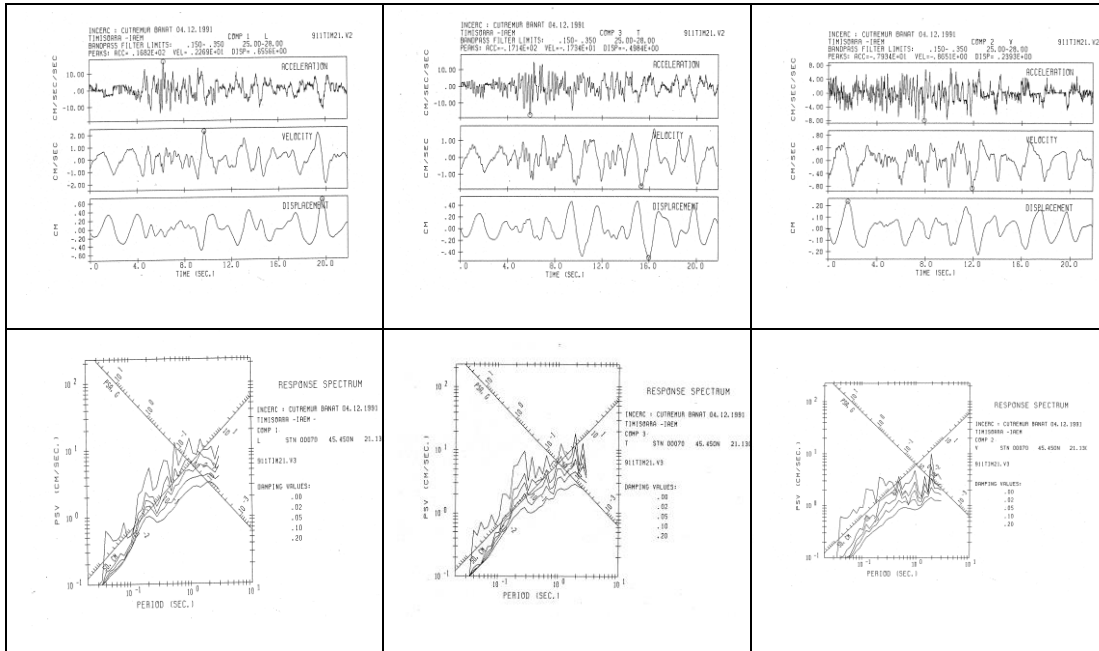


Fig. 4.35. Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 911TIM2 (cutremurul bănăţean din 1991.12.02) – Timișoara Calea Buziașului - Banat

Pentru definirea intensității unei mișcări a terenului într-un punct, se au în vedere următoarele caracteristici ale mișcării seismice a terenului:

- caracteristici determinate direct din examinarea accelerogramelor și integralelor acestora (acelerația de vârf, *PGA*, viteza de vârf, *PGV*, deplasarea de vârf, *PGD*);
- caracteristici determinate din maximele medierilor pe lungimi de 0.4 secunde a valorilor spectrelor de acțiune (acelerația efectivă de vârf, *EPA*, viteza efectivă de vârf, *EPV*, deplasarea efectivă de vârf, *EPD*);
- perioade de colț (perioade de control)  $T_C$  și  $T_D$ ;
- intensități instrumentale globale (intensitatea Arias,  $I_A$ , intensitatea bazată pe spectrul de răspuns  $I_S$ );
- intensități instrumentale mediate pe diferite intervale spectrale (intensități bazate pe spectrul de răspuns și intensități bazate pe spectrul de destructivitate);

Pentru caracterizarea mai bună, concentrată și sintetică a conținutului, la diferite valori de perioadă, a spectrelor de răspuns, s-au introdus spectrele de răspuns pe 12 direcții azimutal echidistante, utilizate intensiv în analize ce vor fi utile în studiile de zonare și microzonare seismică. Spectrele de răspuns pe 12 direcții azimutal echidistante, calculate prin compunerea geometrică a accelerogramelor orizontale înregistrate, constituie o informație cu același grad de obiectivitate ca și gradul de

#### 130 CONSIDERATII PRIVIND HAZARDUL SEISMIC PENTRU ZONA BANAT-TIMISOARA -4

obiectivitate al celor două accelerograme înregistrate pe cele două direcții orizontale ortogonale. Spectrele pe diferite direcții sunt tot atât de importante și fundamentale ca și spectrele pe cele două direcții orizontale ortogonale pentru care s-au obținut în mod direct date instrumentale, întrucât mișcarea pe o direcție oblică, dedusă prin compunerea mișcărilor înregistrate, nu este mai puțin certă decât rezultatul direct al înregistrării. Din cele arătate rezultă concluzia că, pentru a se dispune de o înregistrare cuprinzătoare a caracteristicilor spectrale ale mișcării seismice a terenului, apare necesitatea de considerare a mișcării pe mai multe direcții.

Tabelul 4.13

Intensități tip Arias ( $I_A$ ), Intensități globale bazate pe spectrul de răspuns ( $I_{S1}$ ) și Intensități globale bazate pe spectrul de destructivitate ( $I_{D1}$ ) pentru principalele înregistrări ale cutremurelor bănățene din anul 1991.

<b>Intensitate-&gt; Înregistrare</b>	<b><math>I_A</math></b>	<b><math>I_{S1}</math></b>	<b><math>I_{D1}</math></b>	<b>Cutremur</b>
911tim1.l	4.950	4.850	4.959	<b>1991.07.12</b>
911tim1.t	5.181	5.320	5.196	<b>1991.07.12</b>
911tim2.l	4.408	4.388	4.398	<b>1991.12.02</b>
911tim2.t	4.435	4.354	4.423	<b>1991.12.02</b>
912tim1.l	4.237	4.235	4.229	<b>1991.12.02</b>
912tim1.t	4.202	4.136	4.199	<b>1991.12.02</b>
917bnl1.l	6.085	6.510	6.112	<b>1991.12.02</b>
917bnl1.t	6.521	7.183	6.556	<b>1991.12.02</b>

Spectrele de răspuns și perioadele de colț (de control) calculate pentru înregistrări obținute la cutremure succesive în aceleași stații din Banat susțin prevederile din noua normă de proiectare la cutremur (normativul P 100-1/2006).

S-au efectuat corelații între diferitele mărimi caracteristice ale mișcării seismice a terenului și s-au dat indicații privind utilitatea fiecărui parametru.

S-au calculat accelerograme orizontale pentru 12 direcții azimutale echidistante și spectrele de răspuns aferente pentru fiecare înregistrare, cât și intensități instrumentale bazate pe spectrul de răspuns și pe spectrul de destructivitate, intensități instrumentale globale și intensități instrumentale mediate pe diferite intervale de perioade.

Sunt redată forme de unda prelucrate și spectre caracteristice pentru Banat, împreună cu considerații privind reprezentarea acțiunii seismice în proiectarea de construcții pentru zona Banat.

Se prezintă, sub formă grafică și sub formă tabelară, rezultatele unor noi prelucrări ale înregistrărilor obținute la cutremurele bănățene din anii 1991 - 1996 la nivelul terenului (asimilabile condiției de *free field*).

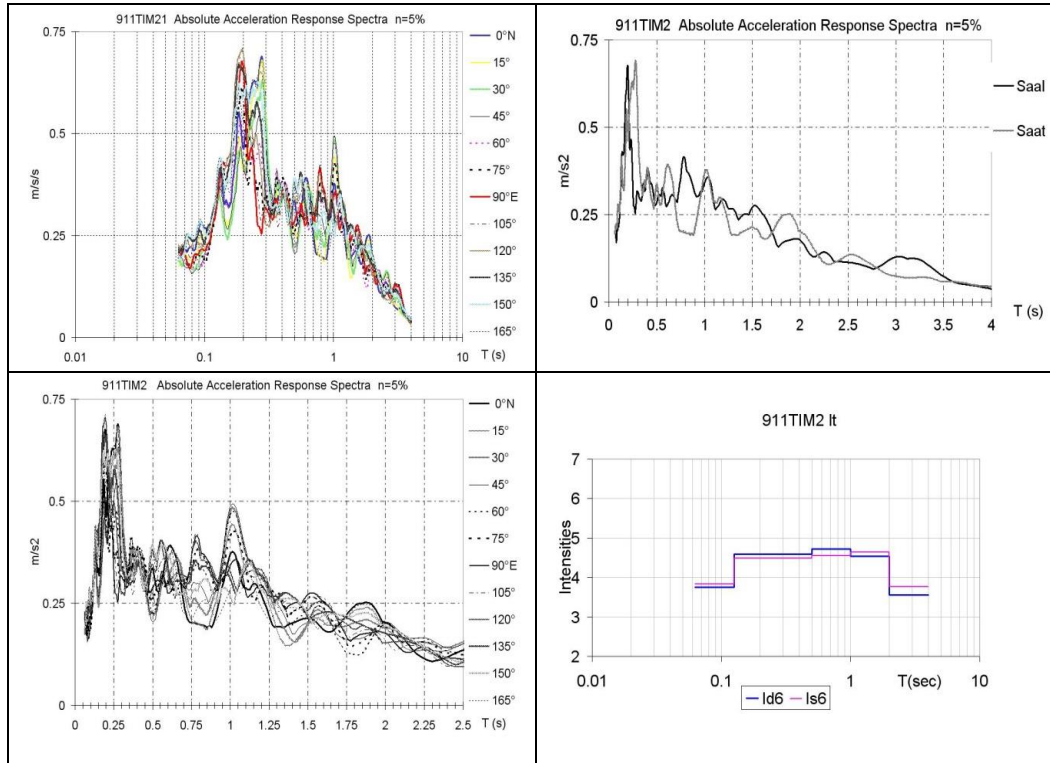


Fig. 4.36. Spectre de răspuns și spectre de intensități (dreapta, jos) pentru înregistrarea 911TIM2 – Timișoara Calea Buziașului – Banat

Analiza înregistrărilor obținute în rețeaua seismică INCERC a permis determinarea principalilor parametri de interes ingineresc ai mișcării terenului. S-au prezentat spectre de răspuns determinate pe baza accelerogramelor obținute în timpul cutremurelor bătănești din anii 1991 – 1996 și spectre de intensități instrumentale calculate pornind de la aceste spectre.

## **5. CONSIDERAȚII PRIVIND COMPORTAREA CONSTRUCȚIILOR LA CUTREMURE**

### **5.1. CONSIDERAȚII GENERALE**

Cunoștințele asupra mișcărilor seismice dobândite în ultimii ani sunt rezultatul analizării efectelor cutremurelor produse atât pe teritoriul țării noastre, cât și în alte zone seismice din lume, prin cercetări teoretice și experimentale efectuate în multe centre universitare și laboratoare de cercetare. Rezultatul acestora este în primul rând schimbarea concepției globale privind comportarea construcțiilor la acțiuni seismice. În momentul de față se cunoaște mult mai bine influența fiecărui factor asupra comportării construcțiilor la seism.

Clădirile pot suferi numeroase tipuri de avarii, care pot fi clasificate în avarii structurale și avarii nestructurale. Ambele feluri de avarii pot fi periculoase pentru ocupanții clădirii. Avariile structurale se localizează la sistemul portant de la care preia încărcările verticale și orizontale. Avariile nestructurale nu afectează integritatea structuri de rezistență, în schimb sunt afectate elementele de compartimentare, elemente decorative, ornamente interioare și exterioare, instalații etc. Avariile care apar la clădiri depind de tipul de structură, vârsta și starea de uzura a clădirii, apropierea de clădirile învecinate, tipul terenului pe care se află și tipul mișcării seismice. Fiecare construcție constituie o realizare bine individualizată de caracteristicile ei vibratorii, de tipul constructiv, de materialul de execuție, de geometria în plan orizontal și vertical.

Avariile cauzate clădirilor depind și de durata și intensitatea mișcării terenului. Astfel o mișcare puternică tinde să aibă o durată mai lungă și, în consecință, să provoace avarii numeroase. Un cutremur de magnitudine mai mică decât 5 nu este potențial periculos, datorita accelerației și duratei relativ mici. Totuși, avariile care pot surveni se datorează tasării terenului, alunecărilor acestuia ori coliziunii cu corpurile de clădiri învecinate.

Amploarea avariilor rezultate dintr-un cutremur major, depinde de nivelul cunoașterii, exigenta proiectării și calitatea execuției la vremea edificării lucrării, de asemenea, de întreținerea clădirii, mărimea și raționalitatea intervențiilor la care a fost supusă pe durata exploatării ei. Deoarece cutremurele nu se repetă, adică putem afirma că mișcările seismice nu sunt identice, nu se poate prevedea tipul de avarii care vor apărea la clădiri. Totuși, există un număr de tendințe generale de avariere, care au fost constatate la majoritatea cutremurelor. Câteva exemple sunt edificatoare. Expertizele post-seismice au remarcat comportarea mai bună a clădirilor din oțel în comparație cu cele din beton și net superioare față de cele din zidărie. Construcțiile proiectate și realizate după codurile noi au avut mai puține avarii decât construcțiile realizate după normele vechi.

## 5.2. COMPORTAREA CLĂDIRILOR DIN ZIDĂRIE

### 5.2.1. COMPORTAREA CLĂDIRILOR DIN ZIDĂRIE NEARMATĂ

Clădirile cu pereți portanți din zidărie nearmată pot avea, de obicei, 4 până la 6 etaje, fiind destinate pentru locuințe, birouri și spații comerciale. Planșeele practice sunt curent din beton armat iar la construcțiile din zidărie mai vechi sunt din lemn. Zidurile portante au grosime de 60 - 70 cm la bază și 25 - 40 cm la etajele superioare. Structurile din zidărie nearmată constituie probabil cel mai vulnerabil tip de construcție la acțiunea seismică.

După fiecare cutremur mediu, respectiv devastator, s-au semnalat cele mai grave și numeroase avarii la acest sistem de clădiri. Principale observații cu caracter specific sunt următoarele:

- ancorajul insuficient al pereților, parapetilor, cornișelor în planșee, determină tendința lor de detașare, iar prăbușirea pereților portanți poate însemna colapsul clădirii;
- zveltețea pereților, în cazul înălțimii mare de etaj, ca și a grosimii mici a zidăriei mai ales la zidurile neportante, este cauza prăbușirii sub efectul unei încărcări laterale, perpendiculare pe perete; colapsul pereților neporanți prezintă riscul căderii unor obiecte ca și al prăbușirii parțiale a pereților portanți;
- rezistența mică la forfecare a mortarului mai ales la clădirile vechi, este principala cauză a avariilor; pereții portanți sunt puternici fisurați, crăpați, cu cărămizi expulzate;
- deformațiile laterale excesive sunt consecința flexibilității mari a diaframelor orizontale - planșeele din lemn; ele permit deformații mari perpendiculare pe planul unor pereți și nu asigură participarea tuturor pereților la preluarea încărcării orizontale. Consecințele sunt: deplanarea unor pereți, ieșirea de pe aliniament, dar mai ales prăbușirea lor sub greutatea proprie.

### 5.2.2. COMPORTAREA CLĂDIRILOR DIN ZIDĂRIE ARMATĂ

Acest tip de clădire este destinat pentru locuințe, spații comerciale și clădiri industriale. De regulă au până la 5 etaje. Pereții perimetrali sunt portanți, iar planșeele au grinzi puternice de lemn sau metal care se descarcă local pe zidărie. Pereții portanți sunt din zidărie armată care se îmbină la intersecții și colțuri. Se întăresc din loc în loc cu pilaștri. Elementele de susținere interioară sunt stâlpi din lemn, oțel sau schelete portante din lemn, respectiv zidărie.

Clădirile din zidărie armată se comportă bine la cutremure moderate dacă pereții sunt întăriți și îmbinați corespunzător și dacă ancorajul diaframelor este satisfăcător. Una dintre problemele majore constă în asigurarea calității manoperei de șantier printr-un control permanent și riguros. Insuficiența îmbinare a zidurilor, insuficiența armare, absența elementelor de asamblare între diafragme și ziduri constituie cauzele avariilor acestui tip de clădire.

La zidurile cu armatură interioară, unde ruperea este patronată de încovoiere, comportarea este aproape elasto - plastică, cu o ductilitate remarcabilă și mici deteriorări sub încărcare alternantă; face excepție cazul marilor deformații. Dacă ruperea este consecința forfecării, are loc fisurarea diagonală, iar ductilitatea este mai mică, iar în prezența unor încărcări verticale mari se poate produce ruperea casantă. Fisura în diagonală atrage o deteriorare mai pronunțată. Armarea

numai pe perimetrul panourilor de zidărie a arătat o comportare mai bună la testele cu încărcări alternante pe mese vibrante lente. De asemenea, armarea ușoară a panourilor din zidărie cu cărămizi cu goluri a asigurat un răspuns favorabil.

Clădirile cu pereți din zidărie armată și planșee din beton armat pot suferi avarii pentru neajunsurile menționate de mai sus. De asemenea, o ancorare mediocră a planșeelor din elemente prefabricate poate constitui cauza unor avarii substanțiale.

### **5.3. COMPORTAREA CLĂDIRILOR DIN BETON ARMAT**

- *Cadre rezistente la moment încovoietor*

Asemenea clădiri sunt masive și au destinații diverse : spații comerciale, spații industriale, locuri de îngrijire, locuri de detenție etc. Cadrele din beton armat sunt structuri relativ flexibile, care necesită măsuri speciale pentru prevenirea avariilor elementelor nestructurale. În funcție de solicitarea predominantă, proiectarea diferențiază două tipuri de cadre: cadre solicitate de forțele gravitaționale (rezistente la moment încovoietor) și cadre solicitate de forțe gravitaționale și forțe laterale, seismice (rezistente la moment și forță tăietoare). Proiectarea uzează de cadre în două variante :

- *cadru neductil* - cel mai frecvent fără pereți armați de umplutură;
- *cadru ductil* - din beton armat.

Următoarele sesizări au rezultat la inspecțiile post-cutremure a clădirilor avariate:

- rigiditatea slabă a structurii a permis deplasări laterale mari care au condus la avarierea elementelor nestructurale;
- rezistența la forfecare mică, insuficientă, a stâlpilor a fost cauza ruperii prin forfecare, înainte de a se mobiliza capacitatea portantă la încovoiere;
- o legătura inadecvată riglă - stâlp sau prezența înădărilor la armături prea aproape de stâlp a condus la rupere;
- absența continuității armături grinzilor duce la formarea articulațiilor plastice, mai ales când încărcarea își schimbă sensul;
- o ancorare insuficientă favorizează o rupere casantă la forfecare sau compresiune;
- distanța mare între etrierii stâlpului conduce la confinarea slabă a betonului și la rupere prin forfecare;
- o lățime inadecvată a rostului seismic între două blocuri vecine poate fi cauza coliziunii lor și a avariilor rezultate din acest accident;
- clădirile în cadre de beton armat cu zidărie de umplutură prezintă în plus riscul căderii zidurilor dacă deformațiile laterale sunt mari.

- *Clădiri din diafragme de beton armat*

Clădirile din diafragme de beton armat pot atinge până la 30 de etaje, putând fi destinate ca stabilimente de îngrijire, detenție, imobile de locuințe sau comerciale. Diafragmele din beton armat se dispun perimetral, ca elemente de compartimentare interioară sau în jurul caselor de scări ori a blocului tehnic. Pereții structurali preiau, de regulă, partea cea mai mare a forțelor orizontale, în special la nivelele inferioare ale construcțiilor multietajate. Ele sunt alcătuite din montanți legați cu rigle de cuplare (buiandrugii). La construcțiile înalte, asemenea pereții sunt zvelți, raportul dintre înălțimea peretelui și lungimea lui fiind mare. Grinzile de

cuplare a montanților constituie elementul sensibil al ansamblului, în ele concentrându-se procesul de degradare.

Acest tip de clădire are o reacție seismică mai bună decât cele în cadre, deoarece prezența diafragmelor mărește rigiditatea și rezistența la forfecare. Câteva tipuri de avarii mai frecvente au fost cauzate de discontinuități verticale, neregularități în plan orizontal, neglijente de execuție. Astfel se pot menționa:

- crăpături în jurul golurilor de uși și ferestre;
- ruperi de forfecare în îmbinări de pereți la eforturi mai mici decât capacitatea portantă;
- ruperi datorită încovoierii pe lungimea de suprapunere insuficientă a armăturilor;
- fisurarea puternică a grinzilor de cuplare și formarea articulațiilor plastice.

- *Structuri prefabricate din beton armat*

Un prim tip de construcție folosit, are ca sistem de rezistență cadre realizate din stâlpi și grinzi prefabricate, asamblate pe șantier. Pentru grinzi se practică secțiuni T, dublu T, dreptunghiulare, în forma literei pi. Deseori grinzile prefabricate sunt precomprimate. Secțiunile uzuale ale stâlpilor sunt: cruce, T și dreptunghiulare. Pentru planșee se folosesc dale prefabricate, asamblate pe șantier.

Comportarea seismică a acestui tip de clădire la cutremure moderate a fost bună, depinzând, în mare măsură, de comportarea pieselor de asamblare a elementelor structurale. După cum acestea au avut sau nu ductilitate suficientă, răspunsul seismic variază între bun și foarte bun. Dintre problemele specifice acestui tip de clădire se menționează:

- ruperea pieselor metalice de asamblare dintre elementele de beton; de regulă acestea se conectează prin sudură pe șantier, care favorizează apariția unor componente cu rupere fragilă în cordoanele de sudură și concentratori de tensiuni;
- suprafața de rezemare a unor prefabricate s-a dovedit insuficientă: la consola stâlpului pentru grinzile prefabricate, la grinzi pentru dala planșeului sau pentru pereți;
- elementele de asamblare la baza stâlpilor prefabricați, pentru fixarea panourilor de perete au fost nepotrivite unor deplasări dinamice;
- conectorii de metal dintre prefabricate au suferit coroziune puternică, care le-a micșorat capacitatea portantă;
- urmare a contracției betonului, s-au suprapus tensiuni din deformații și deplasări împiedicate cu cele din acțiunea seismică.

Un alt tip de clădiri din beton armat prefabricat constă din diafragme verticale cunoscut sub numele de clădiri din panouri mari. Planșeele sunt dale sau fâșii prefabricate. Asemenea clădiri sunt destinate cu precădere pentru locuințe, dar pot servi și ca spații industriale, comerciale sau birouri. Elementele prefabricate care sosesc pe șantier sunt bine proiectate, bine executate, urmând a fi asamblate în condiții mai puțin riguroase. Monolitizarea panourilor în formă de clădire se face prin intermediul stâlpișorilor de la colțuri, respectiv de la intersecții de pereți.

Pe durata unui cutremur s-au constatat următoarele avarieri:

- ieșirea sau ruperea ancorajelor slabe și ieșirea de pe aliniament a panourilor de pereți;
- evazarea panourilor și căderea dalelor de planșeu;
- fisurarea buiandrugilor panourilor de pereți;

- fisurarea monolitizării dalelor de planșeu cu diafragmele pereți, datorită efectului de răscuire a planșeului;

#### **5.4. COMPORTAREA CLĂDIRILOR DIN LEMN**

- *Structuri ușoare din lemn*

Construcțiile ușoare din lemn au ca destinație spații comerciale, birouri, locuințe, locuințe de vacanță. Înălțimea acestor clădiri poate atinge trei etaje. Structura verticală de rezistență este realizată din stâlpi așezați la o anumită distanță și contravântuiți cu diagonale sau panouri prefabricate din lemn. Încărcările sunt mici, iar golurile pentru uși, ferestre sunt neexagerate. Asemenea clădiri au avut o bună comportare la cutremur datorită sistemului structural, a maselor inerțiale mici și a dimensiunilor reduse. S-au semnalat fisuri în placaje care nu au afectat capacitatea portantă a clădirii, deoarece acest tip de structură absoarbe o mare parte din energia seismică indusă.

O avarie majoră întâlnită, provine din ancorarea slabă a pereților de fundații. Construcțiile de acest fel au fundații din zidărie de piatră, zidărie din cărămidă nearsă, sau beton simplu. Primele două feluri de fundații au o rezistență mică la forfecare și pot avea deformații mari care conduc la avarii însemnate ale construcției.

Garajele amenajate la parterul acestor construcții se prezintă cu deschidere mare în pereți, care slăbesc rigiditatea laterală a clădirii. Acest perete, practic, nu oferă nici o rezistență la forțele laterale, ceea ce constituie o problemă, mai ales când deasupra garajului este o încărcare mare. Imobilele cu garaje la parter au arătat avarii grave după cutremure, iar multe s-au prăbușit. Unele din aceste structuri din lemn au pereții placați cu zidărie, care pe durata cutremurului se pot detașa fie din cauza mortarului, fie din cauza fixării insuficiente. La asemenea clădiri se practică coșuri de fum din zidărie nearmată, care prezintă riscul prăbușirii. Ele sunt adesea legate prost de clădire și pot cădea la șocuri mici. Când coșul de fum este din zidărie armată comportarea lui este mult mai bună.

- *Clădiri cu structură din stâlpi și grinzi de lemn*

După cum arată și numele, la aceste clădiri se folosesc piese dreptunghiulare, uneori stâlpi circulari contravântuiți și asamblați cu grinzi puternice. În structură se încadrează diferite tipuri de zidării exterioare : din cărămidă, piatră. Destinația acestor clădiri o constituie spațiile comerciale și industriale, depozite, birouri, săli pentru manifestații culturale - sportive. Clădirile din stâlpi și grinzi de lemn au tendința unei bune comportări la cutremur mai ales dacă sunt contravântuite adecvat. S-a constatat că pereții nu au suficiente ancretoaze pentru a rezista la mișcarea orizontală, în consecință se deformează excesiv rezultând deplanări, ieșiri de pe aliniament, evazări la partea superioară. La asemenea construcții, se constată o mare deteriorare a lemnului ca urmare a intemperiilor și lipsei de întreținere ceea ce reduce rezistența la forțele laterale a clădirii.

#### **5.5. COMPORTAREA CLĂDIRILOR DIN OȚEL**

În comparație cu alte tipuri de clădiri, clădirile cu schelet din oțel au arătat o comportare bună la cutremure din cauza rezistenței, flexibilității și a capacității de



absorbție a energiei seismice induse. Rare sunt exemplele de clădiri din oțel care au capotat la un cutremur. Avariile întâlnite includ:

- deteriorarea elementelor nestructurale : pereți exteriori, pereți despărțitori, ca urmare a deplasărilor laterale mari ale scheletului de rezistență;
- deteriorări la finisaje și consolidări insuficient ancorate sau defectuos realizate;
- ciocnirea corpurilor învecinate când mărimea rostului seismic a fost prea mică;

- *Cadre din oțel rezistente la moment încovoietor*

Acest tip de structură constă din stâlpi și rigle de oțel, sunt dimensionate să preia încărcările verticale și orizontale. În general, structura este acoperită de pereți exteriori din materiale diferite: zidărie de cărămidă, panouri din prefabricate de beton, panouri din tablă cutată sau azbociment. Structura de rezistență se repartizează pe toată suprafața în plan a clădirii având deschideri și travei de 6 - 12 - 15 m. Planșeele pot fi diafragme de beton armat sau platelaje. Foarte frecvent pereții exteriori sunt de tip cortină. Ei sunt placați cu piatră sau cu elemente ceramice. Acest tip de clădiri servesc ca spații de producție, comerciale, spații de întreținere etc.

Cadrele rezistente la moment încovoietor sunt frecvent flexibile, ceea ce conduce la forțe seismice mici, dar cu deplasări laterale mari, deci cu efecte nedorite asupra elementelor de închidere și compartimentare. S-a practicat varianta care concentrează rezistența seismică pe cadrele perimetrice și în câteva cadre izolate. Soluția a dus la grinzi și stâlpi puternici cu un consum mare de oțel și îmbinări masive. Soluția modernă „grinzi moi - stâlpi tari” se bazează pe ductilitatea prinderii riglă stâlp care trebuie să asigure cerința de ductilitate prognozată de proiectare.

- *Cadre din oțel contravântuite*

Structurile din cadre contravântuite din oțel sunt destinate pentru clădiri lungi și înguste din cauza rigidității lor. În cazul cadrelor contravântuite centric, forțele laterale sunt preluate uneori numai de diagonalele întinse, alte ori și de cele comprimate. Cadrele contravântuite centric oferă rezistență și rigiditate mare. Comportarea lor este dominată de limita de curgere a diagonalelor întinse și flambajul celor comprimate. Diagonalele hotărăsc mărimea rigidității laterale care atrage după sine forțe seismice mari și eforturi axiale mari în stâlpi.

La sistemul cu diagonale în x rezultă forțe laterale mari, rezistență mare la întindere și limitată la compresiune. Sistemul disipă o cantitate mică de energie. Flambajul diagonalei comprimate poate avea loc înainte ca diagonala întinsă să atingă limita de curgere.

Sistemul cu diagonale în V sau V întors are o diagonală întinsă și una comprimată prinse de rigla cadrului. Curgerea diagonalei întinse sau flambajul celei comprimate cauzează curgerea riglei, ceea ce înseamnă disipare de energie, deci îmbunătățirea răspunsului seismic.

Modele mai noi de contravântuiri excentrice reprezintă un progres pentru comportarea seismică. În acest caz diagonala este ușor decalată din nodul teoretic riglă - stâlp, iar bucata scurtă de grindă cuprinsă între două noduri succesive se poate deforma sub acțiunea seismică constituind un loc de absorbție al energiei.

## 138 CONSIDERAȚII PRIVIND COMPORTAREA CONSTRUCȚIILOR LA CUTREMURE - 5

Excentricitatea și legătura cu rigla sunt îngrijit alese pentru a împiedica flambajul diagonalei și a furniza mecanismul de disipare a energiei.

- *Structuri ușoare din oțel*

Folosite ca hale pentru depozite, clădiri destinate agriculturii, structurile ușoare din oțel sunt clădiri parter sau cel mult cu un etaj care acoperă suprafețe mari. Construcția este realizată din cadre de oțel dimensionate să preia atât încărcările verticale, dar și cele orizontale. Forțele orizontale sunt conduse la fundații de sistemul de contravântuiri practicat la nivelul acoperișului și între cadre în planul pereților.

Asemenea clădiri au arătat o bună comportare la cutremure. Totuși au ieșit în evidență câteva probleme:

- capacitatea portantă mică a diagonalelor întinse - realizate de cele mai multe ori din oțel rotund - care au permis alungiri mari, deci deplasări mari și astfel pereții exteriori și de compartimentare au înregistrat avarii;
- ancoraje slabe sau improprii în fundații care au cauzat lunecarea stâlpilor de pe cuzineți;
- detașarea închiderilor de scheletul portant când prinderea lor a fost incorectă sau insuficientă.

- *Structuri din oțel cu pereți din beton pentru forfecare*

Acest sistem constructiv constă dintr-o succesiune de cadre din oțel dimensionate să preia numai încărcările verticale. Încărcările orizontale din vânt și cutremure sunt dirijate către pereții din beton armat localizați în jurul casei scărilor, respectiv a blocului tehnic. Alteori, acești pereți au rol de închideri exterioare sau pereți de compartimentare. Clădirile cu acest sistem au evidențiat o bună comportare la cutremure. Următoarele deficiențe au fost semnalate:

- fisuri și crăpături de forfecare în jurul golurilor din pereții de beton;
- prăbușirea pereților din cauza slabei monolitizări dintre ei, ca urmare a forfecării înainte de a se atinge nivelul de rezistență cu care au fost înzestrați;
- lungimea insuficientă de suprapunere a armăturilor verticale a condus la o rupere din încovoiere.

- *Cadre din oțel cu pereți de umplutură din zidărie*

Acest tip de construcție cuprinde cadre de oțel cu zidării nearmate. Recentele construcții de acest fel au planșee din beton armat. Din cauza umpluturii din zidărie structura etalează o rigiditate inițială mare. În timpul cutremurului, zidăria fisurează ceea ce reduce rigiditatea laterală. Unii pereți, prin cădere, conduc la alterarea uniformității rigidității inițiale și favorizează efectul de torsiune. Se pot aminti următoarele tipuri de avarii frecvente:

- fisuri multiple, crăpături, desprinderi de cărămizi din pereții de umplutură;
- desprinderea pereților de umplutură, deplanarea și prăbușirea lor la sarcini orizontale mici perpendiculare pe planul lor;
- placajele de zidărie sunt slab ancorate de elementele cadrului și manifestă tendința desprinderii și a căderii;
- zidurile interioare sunt zvelte, ceea ce explică prăbușirea lor;

- la fațade, la nivelul parterului, lipsesc pereții de umplutură, ceea ce reprezintă un salt de rigiditate;
- pereții din zidărie sunt încărcări, respectiv mase inerțiale mari, care dau naștere la forțe laterale mari. Elementele de rezistență, dar mai ales îmbinările, sunt supuse la solicitări considerabile, care conduc la deformații remanente mari.

## 5.6. CONCEPTELE STRUCTURALE ALE CLĂDIRILOR DIN ZIDĂRIE REZISTENTE LA CUTREMURE

Evenimentele seismice reprezintă examene severe la care sunt supuse construcțiile. Clădirile cu alcătuire regulată, cu pereții portanți legați prin planșee s-au comportat bine chiar și fără a fi proiectați antiseismic. Analiza avariilor seismice a arătat că aplicarea unor principii simple poate îmbunătăți comportarea seismică a clădirilor. Aceste principii se referă la proiectarea de arhitectură, proiectarea structurală respectarea cerințelor de calitate pentru materiale cât și pentru construcție. Câteva din aceste principii sunt detaliate mai jos.

Simplitate și regularitate structurală adică uniformitate și simetrie, cu alte cuvinte evitarea disimetriei în rigiditatea laterală în plan, evitarea salturilor de rigiditate pe verticala clădirii, diminuarea efectului de torsiune seismică. Scurgerea încărcărilor să se facă la fundații pe cel mai scurt traseu (să se evite descărcările indirecte). În cazul unei structuri simple și ordonate, încărcările gravitaționale și cele seismice accidentale să se transmită de la element la element și să ajungă la terenul de fundații direct și neconturbat. Energia seismică indusă să se disipeze uniform în întreaga structură. În cazul contrar, se produc concentrații de tensiuni în zone nepregătite pentru așa ceva, rezultând avarii grave chiar și colapsul. Mișcarea seismică este un fenomen tridimensional. De aceea elementele de rezistență trebuie proiectate să confere structurii rezistența pe ambele direcții în planul orizontal, deci pe ambele direcții trebuie dispuși pereți de rezistență. Dispunerea simetrică împiedică posibilul fenomen de torsiune care deseori cauzează o comportare neașteptată a construcției. Din acest motiv retragerile de pe aliniament a unor porțiuni din fațade, figura 5.1, sunt limitate la 25% din dimensiunea globală a clădirii pe direcția corespunzătoare.

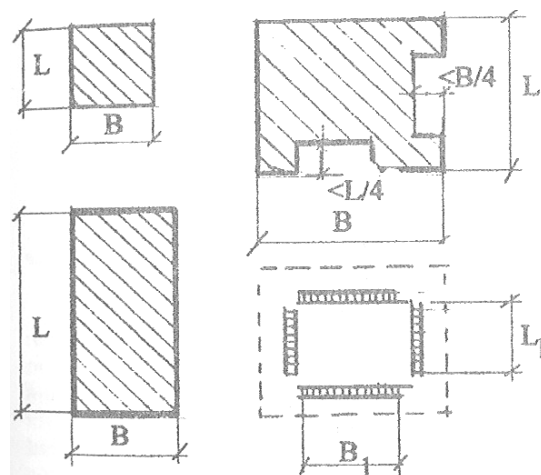


Fig. 5.1. Forme recomandate în plan orizontal

Redundanța, robustețea - ceea ce se concretizează în dotarea clădirii cu potențial de redistribuire a solicitărilor și de consum din energia seismică indusă.

Practicarea de planșee de șaibă rigidă capabile să angajeze toate elementele verticale pereți, stâlpișori miezuri în preluarea forțelor seismice.

Executarea de fundații adecvate întrucât dacă terenul cedează înaintea atingerii rezistenței limită a structurii, construcția este expusă la riscul tasărilor inegale, a lunecării la nivelul fundațiilor sau al răsturnării în avans față de intervenția efectului redistribuirii eforturilor.

### 5.6.1. Configurația clădirii

Analiza avariilor seismice la nivelul actual de cunoștințe tehnice și tehnologice a condus la limitarea dimensiunilor în plan orizontal, pe verticală și înălțimea de etaj a clădirilor din zidărie. Forma în plan cea mai favorabilă este aceea circulară, pătrată ori pătrat dreptunghiulară, cu raportul laturilor cel mult 4. Clădirile mari cu formă în plan L, U, H, T se separă în câteva părți pentru ca fiecare parte să fie simetrică și de forma pătrat - dreptunghiulară. Separarea se face prin rosturi seismice a căror mărime trebuie să evite ciocnirea blocurilor adiacente pe durata cutremurului, figura 5.2. O regulă empirică pentru deschiderea rostului începe cu 30 mm la nivelul solului și adăugă câte 10 mm pentru fiecare etaj.

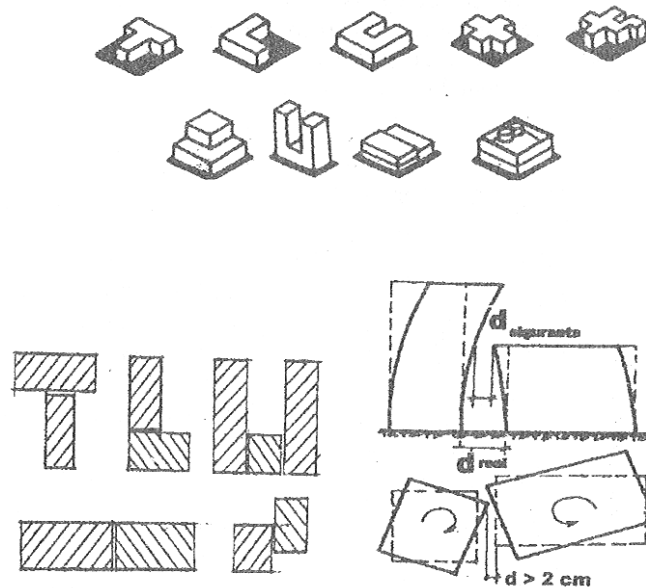


Fig. 5.2. Formele din plan orizontal se partiționează în dreptunghiuri; Rostul dintre două corpuri vecine

Clădirea trebuie ordonată în elevație. Distribuția elementelor de rezistență, a rigidității trebuie să fie cât mai uniformă. Concentrarea maselor la partea superioară a clădirii trebuie evitată. Schimbările bruște în rigiditatea laterală datorită schimbării dimensiunilor în plan, a distribuției și tipului elementelor structurale pe înălțimea clădirii conduc la concentrări severe de tensiuni și la o cerință mai mare de disipare

energetică care se concretizează în zone care se avariază, figura 5.3., structuri cu variație de rigiditate laterală.

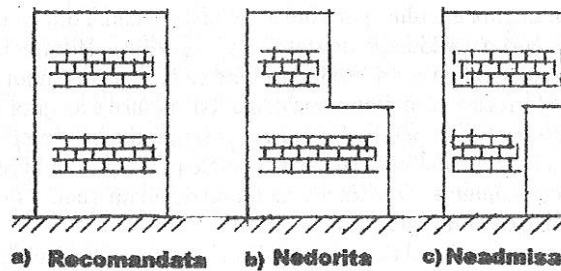


Fig. 5.3. Elevații la clădirii de zidărie

Sisteme structurale mixte: ziduri portante la un nivel și cadre din beton armat la nivelul adiacent nu se admit. Uneori o combinație de stâlpi din beton armat și ziduri de forfecare se cer la un etaj din motive arhitecturale, figura 5.4. Stâlpii trebuie să fie o parte a unui sistem de cadre legat de pereții de forfecare prin diafragme orizontale pentru a asigura distribuția uniformă a încărcării seismice între pereții din zidărie și stâlpii din beton armat. Pereții de zidărie trebuie să fie armați cu bare de oțel verticale și orizontale pentru a le îmbunătăți ductilitatea și capacitatea disipativă. O analiză structurală detaliată trebuie să confirme transferul forțelor seismice de la un tip structural la altul.

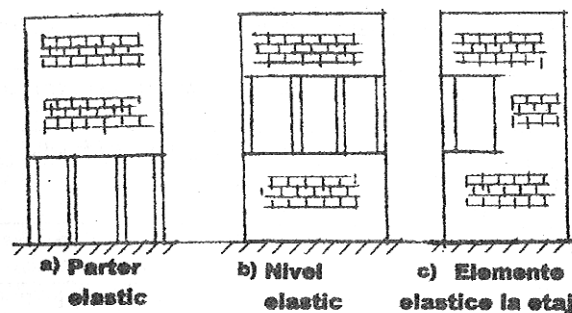


Fig. 5.4. Inserarea nerecomandată a unor zone

Cu scopul de a asigura efectul de șaibă rigidă orizontală a planșeului, acesta trebuie să se situeze într-un singur plan orizontal, să evite denivelări accentuate și să nu aibă discontinuități cum ar fi aceea dată de casa scării. Zona golurilor mari trebuie consolidate cu grinzi de centură. O legătură bună a pereților cu dalele planșeelor asigură pe deplin potențialul rezistenței seismice. În cazul contrar, pereții au tendința să se separe de-a lungul îmbinării verticale la colțuri și intersecții ca urmare a vibrațiilor în afara planurilor lor. Vibrațiile decuplate reduc rezistența laterală a clădirii și în consecință produc colapsul parțial sau total.

### 5.6.2. Dimensiuni

Consecință a examinării avariilor seismice, a rezultatelor experimentale recente și a investigațiilor analitice coroborate cu îmbunătățirile tehnologice și de

## 142 CONSIDERAȚII PRIVIND COMPORTAREA CONSTRUCȚIILOR LA CUTREMURE - 5

proiectare s-au enunțat limitări referitoare la dimensiunile în plan, înălțimea și numărul de etaje. Zidăria nearmată nu este permisă la pereții de rezistență la clădiri cu mai mult de 2 etaje în zone cu accelerația seismică a terenului  $a_g \geq 0,3$  g. EC6 și EC8 nu limitează perimetrul și înălțimea clădirilor din zidărie. În cazul clădirilor din zidărie confinată sau armată care îndeplinesc cerințele de bază pentru calitatea materialelor și configurația structurală, mărimea și înălțimea clădirii depinde de capacitatea portantă a materialelor zidăriei. Oricum structura trebuie să verifice starea limită de serviciu și starea limită ultimă. Astfel pentru a evita torsiunea datorită sosirii asincrone a undelor seismice, lungimea clădirii sau a părților ei se limitează la 40 m în zone de seismicitate mare (accelerația terenului  $a_g \geq 0,3$  g) și la 50 m în zone de seismicitate moderată sau joasă ( $a_g \leq 0,3$  g). În cazul unui teren slab limitările dimensionale devin mai severe.

Ținând seama de calitatea materialelor, tehnologia de execuție și experiența cutremurelor trecute se practică limitări asupra înălțimii  $H$  și a numărului de etaje  $n$ , pentru pereții de zidărie pline sau cu goluri, cu toate că rezistența seismică a clădirilor din zidărie se verifică pe cale analitică, tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Limitarea înălțimii deasupra solului  $H$  și a numărului de etaje  $n$

Tipul zidăriei	Seismicitatea zonei în grade MSK		
	VI	VII	VIII
	$a_t \leq 0,2$ g	$a_t = (0,2 - 0,3)$ g	$a_t > 0,3$ g
Zidărie nearmată $H$ $n$	12	9	6
	4	3	2
Zidărie confinată $H$ $n$	18	15	12
	6	5	4
Zidărie armată $H$ $n$	24	21	18
	8	7	6

### 5.6.3. Sistemul structural

Sistemul structural al clădirilor din zidărie se constituie din pereți portanți care trebuie dispuși uniform pe cele două direcții ortogonale de inerție. Numărul și rezistența lor trebuie să asigure rezistența la cutremur a clădirii. Pereții trebuie legați trainic de planșee. Planșeele lucrează ca șaibe rigide și distribuie forța tăietoare din cutremur pe zidurile etajului respectiv proporțional cu rigiditatea lor. Pereții care alcătuiesc o clădire se clasifică ca în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2

Clasificarea pereților la clădirile din zidărie

Criteriul de clasificare	Felul pereților	
Rolul funcțional în clădire	Portanți	Cu rol de compartimentare
După preluarea încărcărilor	Portanți care preiau încărcările verticale	Pereți de contravântuire care preiau greutatea lor și forțe orizontale

Pentru a satisface cerințele comportării seismice pentru pereții care preiau forțele orizontale sunt recomandate distanțele dintre ei în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

Distanțe între pereții care preiau forțele seismice în m

Felul zidăriei	Seismicitatea zonei în grade MSK		
	VI	VII	VIII
	$a_g \leq 0,2 \text{ g}$	$a_g = (0,2 - 0,3) \text{ g}$	$a_g > 0,3 \text{ g}$
Zidărie nearmată	10	8	6
Zidărie confinată	15	12	8
Zidărie armată	15	12	8

Grosimea minimă a pereților structurali:

- 400 mm pentru zidurile din piatră;
- 300 mm pentru zidăria nearmată;
- 240 mm pentru zidăria armată respectiv confinată;

Recomandările de mai sus sunt oportune la conceperea planurilor clădirii. Pereții trebuie verificați la încărcările verticale și acțiunea seismică în planul lor dar și perpendicular, când distanțele de mai sus pot fi limitate mai sever.

#### 5.6.4. Goluri de uși și ferestre

Prezența golurilor în unii pereți este inevitabilă din motive funcționale. Aceste goluri reprezintă o slăbire a secțiunii active a peretelui. Rolul lor defavorabil s-a dovedit la cutremurele trecute. Golurile sunt concentratori de tensiuni pe durata acțiunii seismice și duc la fisurarea neașteptată a zidăriei. De aceea s-a impus ca lungimea totală a golurilor în plan orizontal să nu depășească jumătate din lungimea totală a zidurilor de forfecare. Secțiunea pereților structurali pe fiecare din cele două direcții ortogonale să fie mai mare de 3 % din aria globală a planșeului, cazul pereților cu unități pline sau cu goluri. Următoarele recomandări privind dimensiunile și locul de amplasare al golurilor au un rezultat din experiența cutremurelor trecute.

- La fiecare nivel golurile să ocupe aceeași poziție;
- Marginea superioară a golurilor la un etaj să fie la aceeași nivel;
- Golurile să fie distribuite uniform și simetric pe cele două direcții ortogonale din planul orizontal pentru a asigura o aceeași rigiditate clădirii;
- Golurile să fie plasate în pereții care suportă încărcări gravitaționale mai mici;
- Golurile să fie practicate în afara zonelor supuse la încărcări concentrate mari;
- Golurile nu trebuie să întrerupă grinzile de centură.

#### 5.6.5. Elemente nestructurale

Elementele nestructurale, prin avarierea sau capotarea lor, pot obstrucționa ieșirile de urgență, trecerile dintre încăperi ori pot agrava avariile elementelor structurale. Din aceste motive proiectarea trebuie să acorde o atenție sporită

detalierii acestor elemente: pereți de compartimentare, calcane, aticuri, coșuri de fum, ornamente interioare și exterioare, placaje etc.

### 5.6.5.1. Pereți nestructurali

Pereți despărțitori au uzual grosime mică, 100 mm sau mai puțin. Funcție de dimensiunile lor și de zona seismică, pereții neportanți pot fi din zidărie armată cu bare așezate în asize pentru asigurarea stabilității în afara planului lor. Se folosesc bare  $\varnothing 4 - 6$  mm la distanță de 400 - 600 mm. Pereții despărțitori se fixează de planșee în rosturi cu mortar de ciment iar lateral se ancorează de pereții structurali sau de stâlpii tirant, cu ancore metalice dispuse pe marginile verticale.

Pereții frontali se ancorează la partea superioară de grinzile de centură. Pentru aceasta, grinzile de centură trebuie să fie continue pe marginea superioară a frontonului. Dacă înălțimea acestor pereți depășește 4 m atunci trebuie adăugate grinzișoare din beton armat la distanță pe verticală la cel mult 2 m. Dacă lungimea frontonului depășește 4 m atunci se adaugă stâlpișori tirant la distanțe mai mici de 4 m formând o paiantă în care se înserează peretele frontal, figura 5.5.

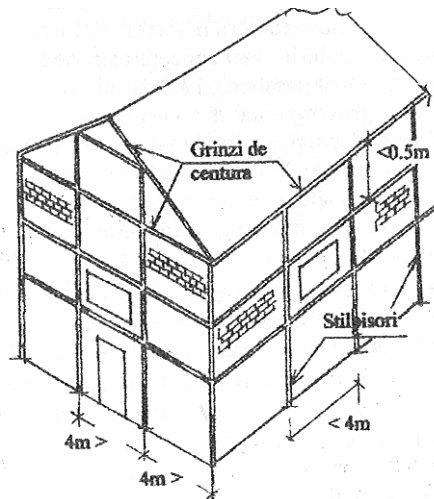


Fig. 5.5. Realizarea elementelor de beton armat la pereții de închidere

Zidurile calcan au o grosime mică și fiind situați la înălțime, sunt foarte vulnerabili, de aceea ei trebuie, fie întăriți cu pilaștri, fie ancorați de șarpanta învelitoarei. La partea superioară a acestui perete se recomandă o grindă de centură din beton armat pe tot conturul lui. Dacă înălțimea calcanului este mai mare de 4 m se prevăd grinzișoare din beton armat la distanță nu mai mare de 2 m. Pentru calcane de lungimi mai mari se recomandă stâlpișori tirant din beton armat.

Placajele din zidărie constituie un element decorativ adesea folosit pentru îmbunătățirea imaginii exterioare. Placajul din zidărie se descarcă pe sistemul structural și poate fi aderent sau ancorat. Placajul poate fi alcătuit sub forma unui perete legat adecvat de structura aflată în spatele lui. El nu contribuie la rigiditatea și rezistența acestuia. În cazul în care placajul este atașat de un perete apar probleme referitoare la mișcarea diferențială a placajului față de zid din efectul de contracție și variația de temperatură. Dacă suportul placajului este din beton armat sau oțel această problemă dispore. Pe durata unui cutremur placajul se poate



desprinde parțial și să cadă în afară. O ancorare adecvată de pereții structurali cu ancore sau conectori metalici înlătură acest neajuns. EC6 și EC8 nu redactează cerințe speciale pentru placa dar pretinde verificarea stabilității unor asemenea pereți neporanți.

### 5.6.5.2. Buiandrugii

Funcția buiandrugului este de a prelua încărcarea verticală de deasupra golului. Buiandrugii pot fi făcuți din beton monolit, beton prefabricat ori ca elemente de zidărie armată, figura 4.6. Lățimea buiandrugului este egală cu grosimea peretelui dar la pereții exteriori ea se poate reduce, dar nu sub 150 mm, pentru a permite termoizolarea. Lungimea minimă de rezemare a buiandrugului pe zid este de 250 mm la fiecare capăt. Funcție de distanța de la fața superioară a planșeului și buiandrug acesta din urmă se poate turna monolit odată cu grinda de centură ceea ce constituie o soluție cu o mai bună comportare la cutremur, figura 5.6. În cazul zidăriei confinate cu stâlpi tirant din beton armat, armatură buiandrugului se ancorează în stâlpii tirant.

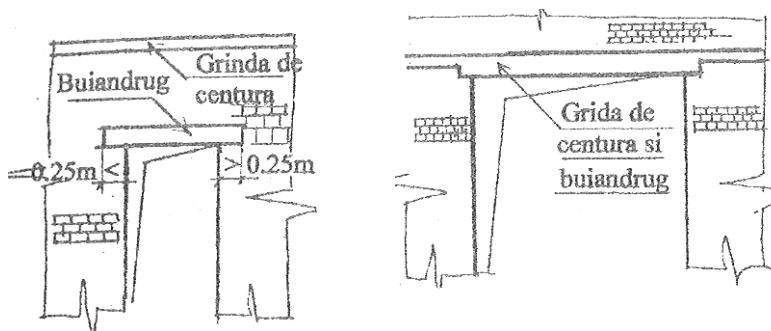


Fig. 5.6. Buiandrug simplu și buiandrug din grinda de centură

### 5.6.5.3. Balcoane

Mișcarea seismică aplicată bazei de rezemare induce vibrații verticale la balcoane și streășinile clădirilor. Pentru a reduce vibrațiile verticale (nedorite) se recomandă ca deschiderea consolei balconului să depășească 1,2 m când balconul este monolit cu planșeul, respectiv 0,50 m când dala balconului este monolit cu grinda de centură, figura 5.7.

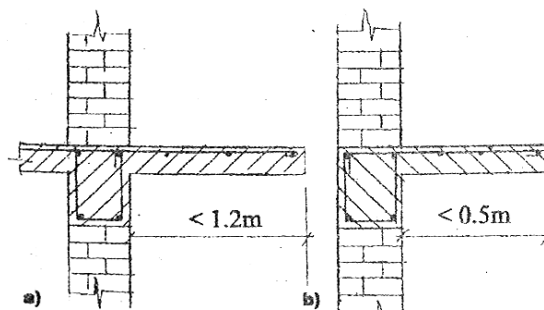


Fig. 5.7. Restricții pentru consola balconului

Balcoanele cu deschiderea consolei mai mare decât cele recomandate se verifică la încărcare seismică verticală. Conform EC8, inputul seismic pentru această verificare este spectrul accelerației orizontale amendat cu 0,7 dacă perioada modelului este sub 0,15 s respectiv cu 0,5 dacă perioada modelului este mai mare de 0,5 s. Modelul care se supune analizei modale include consola balconului și o parte din structură în care acesta se încastrează.

#### **5.6.5.4. Coșurile de fum individuale si canalele de ventilație**

Se construiesc din unități de zidărie legate cu mortar de ciment și se ancorează de șarpanta acoperișului la nivelul acestuia. Coșul de fum, canalele de ventilație se ancorează la nivelul superior al planșeelor cu armatura care iese din panseu.

#### **5.6.6. Planșee**

Pe durata unui cutremur planșeele activează ca diafragme orizontale care îndeplinesc următoarele funcțiuni: transferă forțele seismice la pereții portanți, leagă zidurile obligându-le să lucreze împreună, distribuie forța tăietoare din cutremur pe zidurile portante ale etajului. Grinda de centură a planșeului asigură conlucrarea zidurilor.

Conform EC6 și EC8 un planșeu, amplasat în zone seismice, poate fi făcut din beton monolit, beton prefabricat ori din grinzi metalice ori de lemn ecarisat cu capetele încastrate astfel încât planșeul să fie capabil să îndeplinească rolul de șaiabă rigidă. Legătura dintre planșeu și ziduri este asigurată fie de grinzile de centură fie de tiranți din oțel. Încărcările orizontale, laterale se transferă la ziduri fie prin ancore, fie prin etrieri, fie prin frecarea dintre planșeu și pereți.

Diferite tipuri de planșee se folosesc în practică :

- Planșeul turnat monolit odată cu grinzile de centura reprezintă soluția cea mai sigură, figura 5.8. Transferul forțelor de forfecare se asigură dacă lungimea de rezemare este mai mare de 65 mm.

În cazul planșeelor monolite, grinda de centură este o parte constituantă a șaiabei orizontale și armatură grinzii de centură preia tensiunile dezvoltate în fibrele întinse ale diafragmei.

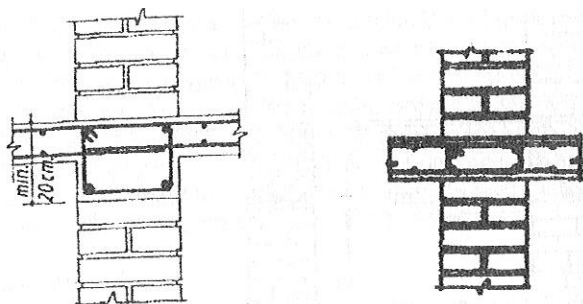


Fig. 5.8. Planșee monolite cu grinzi de centură

- Planșeele din elementele prefabricate din beton armat sau zidărie armată au la partea superioara o suprabetonare de minim 40 mm grosime din beton C20 și armatura Ø6 mm diametru într-o rețea cu ochiuri 200 mm la mijlocul

grosimii suprabetonării, figura 5.9. Suprabetonarea se toarnă în același timp cu grinzile care constituie și monolitizările dintre elementele prefabricate.

În cazul în care elementele prefabricate ale planșeului nu au suprabetonare, ele trebuie bine legate între ele și cu grinzile de centură care este și suportul prefabricatului.

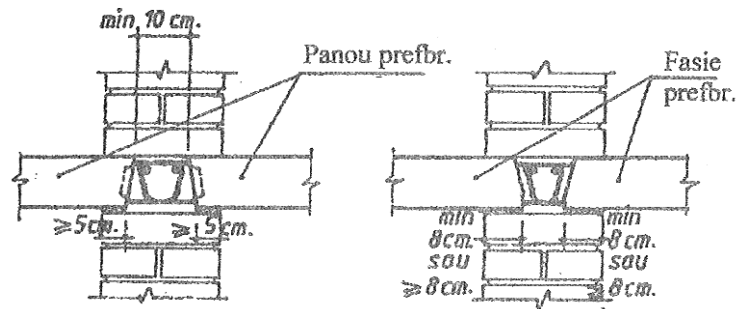


Fig. 5.9. Planșee din elemente prefabricate din beton armat

- Planșeele din lemn reprezintă diafragme flexibile. Dacă ele sunt bine ancorate în zidurile portante ele pot îmbunătăți comportarea la cutremur a clădirilor din zidărie. Proprietatea de șaibă rigidă a planșeului din lemn este asigurată dacă la partea superioară a grinzilor se fixează dulapi dispuși pe amândouă direcțiile ale planșeului, sau dulapi dispuși pe diagonala planșeului la ambele fețe ale grinzilor, figura 5.10. Oricum la aceste clădiri se prevăd grinzile de centură din beton armat sau tiranți din oțel pe conturul tuturor zidurilor portante. Grinzile de rezistență ale planșeului se ancorează în grinzile de centură sau cu ancore din oțel în zidurile de rezistență.

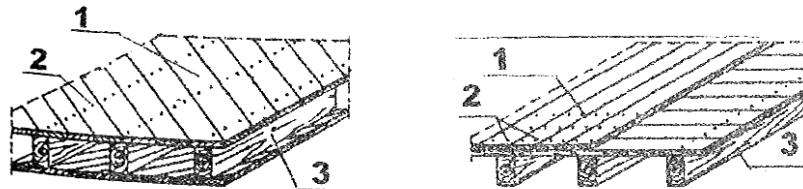


Fig. 5.10. Planșee din lemn; 1 - dulap sau scândura, 2 - cuie, 3 - grinda

- Planșeele pe grinzile metalice cunosc o folosire tot mai frecventă, ele fiind alcătuite din grinzile profile laminare, figura 5.11.a sau profile din tabla subțire îndoită la rece figura 5.11.b cu cofraj pierdut.

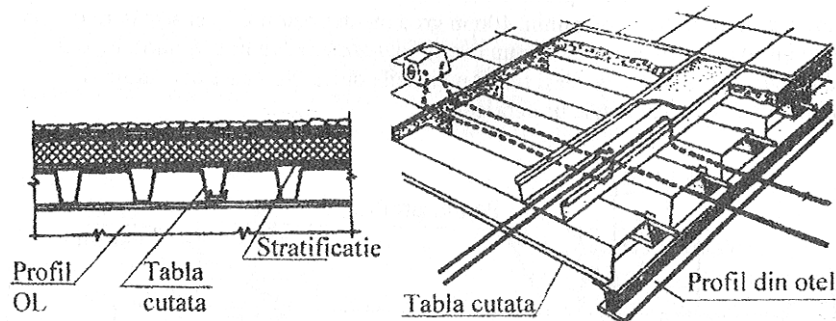


Fig. 5.11.a.b. Planșee cu elemente de rezistență din oțel

### 5.6.7. Grinzile de centură

Grinzile de centură (sau grinzile tirant) se realizează la partea superioară a tuturor zidurilor portante la fiecare nivel sau la distanțe ce nu depășesc 4 m una de alta pe verticală. Funcțiunile grinzilor de centură sunt: asigură transferul forței tăietoare din cutremur de la planșeu la structura pereților imediat sub el, leagă pereții de rezistență făcându-i să lucreze împreună, îmbunătățește rigiditatea laterală a planșeurilor pe ambele direcții, formează un cadru spațial împreună cu stâlpii tirant la zidăriile confinate care măresc rigiditatea laterală a clădirii și capacitatea ei de disipare energetică. Grinzile de centură se realizează din beton, marca minimă B15 și cu secțiunea transversală minimă de 150 x 150 mm. De regulă lățimea lor este egală cu grosimea peretelui. Pentru a permite așezarea termoizolației lățimea grinzii de centură poate fi mai mică decât grosimea peretelui. Aria minimă de armătură recomandată de EC8 este de 240 mm<sup>2</sup>, dar cea practică uzual este de 314 mm<sup>2</sup>, adică 4 bare Ø10 mm din oțel moale (240 MPa – rezistența la curgere). Cantitatea de armătură recomandată a rezultat din inventarierea avariilor seismice ale acestui element, tabelul 5.4. Barele se leagă cu etrieri Ø4 mm la distanța de 200 mm. Armătura grinzilor de centură se ancorează bine la colțuri și intersecții prin suprapunerile corespunzătoare. Conform EC6 și EC8 grinzile de centură nu se proiectează la încărcarea seismică. Încercările experimentale au permis identificarea a două mecanisme care guvernează comportarea grinzilor de centură: încovoierea datorită vibrațiilor în afara planului pereților și forfecarea seismică exercitată de perete pe direcția acțiunii seismice.

Tabelul 5.4

Numărul și diametrul barelor din oțel moale în grinzile de centură

Număr de etaje	Poziția etajului	Seismicitatea zonei în grade MSK		
		VI	VII	VIII
		$a^t < 0,2g$	$0,2g < a^t < 0,3g$	$0,3g < a^t$
2	1 - 2	4Ø 8	4Ø 10	4Ø 12
4	1 - 2	4Ø 8	4Ø 12	4Ø 14
4	2 - 4	4Ø 8	4Ø 10	4Ø 12
6	1 - 2	4Ø 8	4Ø 14	4Ø 16
6	3 - 4	4Ø 8	4Ø 12	4Ø 14
6	5 - 6	4Ø 8	4Ø 10	4Ø 12

### 5.6.8. Acoperișuri - Înelitori

Sistemul de rezistență al acoperișului (șarpantă) se concepe astfel ca să aibă rigiditatea necesară pe ambele direcții și se ancorează corespunzător de grinda de centură de la ultimul etaj. Sistemele structurale care exercită forțe laterale în aticuri sau frontoane trebuie evitate. Dacă soluția nu poate fi ocolită atunci aticul trebuie bine ancorat în dala pe care se descarcă cu ajutorul unor stâlpi. Pentru a evita o masă inerțială mare la partea superioară a clădirii, pentru învelitoare se recomandă materiale ușoare. La învelitorile prefabricate de beton, elementele vor fi bine încastrate în grinda de centură iar șapa de egalizare nu va depăși 40 mm grosime.

## 5.7. CLĂDIRILE DIN ZIDĂRIE PE DURATA ACȚIUNII SEISMICE

Acțiunea seismică este accidentală, ea putând interveni de câteva ori sau nicidecum pe durata de viață (exploatare) a unei clădiri, în funcție de seismicitatea zonei. Experiența cutremurelor trecute a scos în evidență vulnerabilitatea clădirilor din zidărie, care au înregistrat cele mai serioase avarii. Acest fapt a determinat proiectarea, execuția și întreținerea să acorde atenție diferențiată acestor clădiri. Astfel verificarea stabilității și siguranței clădirilor din zidărie în zonele lovite de cutremur a devenit obligatorie. Ea se practică pentru inputul seismic al zonei stabilit pe baza studiilor geologice, seismologice și a istoriei cutremurelor în zona respectivă. Inputul seismic este caracterizat de parametrii, care permit evaluarea acțiunii seismice asupra clădirii. Inputul seismic curent este spectrul accelerației terenului pentru clădirea dată amplasată pe un teren cunoscut dintr-o zonă nominalizată. Pe de alta parte, verificarea se bazează pe analiza avariilor seismice care au evidențiat: mecanismele de cedare ale elementelor structurale și nestructurale ale clădirilor din zidărie, deficiențele sistemelor structurale, măsurile de îmbunătățire necesare.

Mișcarea seismică se manifestă la baza de rezemare a clădirii și determină forțele de inerție aplicate maselor din construcție, deplasarea reazemelor, presiuni asupra părților îngropate ale clădirii. Probabilitatea unui cutremur de a se manifesta pe durata de viață a clădirii, accelerația mișcării seismice de sub construcție, răspunsul seismic, sunt principalele aspecte care intervin în stabilirea inputului seismic. Specialiștii în seismologie au propus diferite relații matematice, care apreciază perioada de revenire a unui cutremur  $P_R$ , cu probabilitatea  $P_D$  de a lovi o zonă pe o durată de exploatare, exemplu, de  $D = 50$  ani a construcției. Astfel avem relația:

$$P_R = \frac{-D}{\ln(1 - P_D)} \quad (5.1)$$

care conduce la valorile din tabelul 5.5.

Unul din factorii principali pentru siguranța vieților omenești din clădirile de zidărie clasa de importanță sau gradul de protecție seismică al clădirii.

Tabelul 5.5

Durata de viață a clădirii vs. probabilitatea de a fi lovită de un cutremur

<b>D - Durata de viață în ani</b>	<b>P<sub>D</sub> - Probabilitatea de depășire %</b>	<b>P<sub>R</sub> - Perioada medie de revenire în ani</b>
50	50	72
50	20	225
50	10	474
50	2	2475

Accelerația mișcării bazei de rezemare este stabilită de scara intensității seismice MSK, scara cu 12 diviziuni și are valorile din tabelul 5.6.

Tabelul 5.6

Accelerația solului în funcție de intensitatea seismică MSK

<b>Gradații de intensitate seismică pe scara MSK</b>			
<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>IX</b>
(0,02 - 0,05) g	(0,05 - 0,10)g	(0,10 - 0,20)g	(0,20 - 0,4)g

### 5.7.1. Avariarea clădirilor din zidărie

Fenomenul de degradare - pe durata unui eveniment seismic în construcții se petrece un ansamblu de fenomene care modifică proprietățile de rigiditate, capacitatea portantă, deformabilitatea elementelor. Materialele care alcătuiesc construcția își modifică proprietățile prin detensionare, curgere, ecruisare etc. Toate aceste modificări au ca sursă energia purtată de undele seismice și intrată în construcție. Ele constituie un fenomen de degradare față de condițiile proiectării deoarece rigiditatea scade, deformabilitatea crește, capacitatea portantă se reduce, iar condițiile de folosire devin nesigure. La un nou eveniment seismic absorbția de energie este mult diminuată. Procesul de degradare cunoaște forme vizibile : fisuri, crăpături, exfolieri, dislocări, flambaj, voalări. Există fără îndoială și avarii ascunse a căror prezență se poate bănui după unele indicii dintre care unele pot fi vizualizate prin decopertări, altele deloc. Indicatorul general al stării de integritate - perioada naturală și creșterea deformațiilor sunt argumente care confirmă modificarea structurii. Degradarea se poate clasifica prin analogie cu modul de comportare al materialelor în:

a. Degradare casantă - a cărei evoluție este gradată de la microfisurare în volume mari la fisurarea vizibilă; această degradare corespunde mortarelor, betoanelor, zidărilor, în general rocilor. Degradarea casantă constituie un fenomen limită de trecere a monoblocului cu rezistență și stabilitate asigurată într-o masă pulverulentă, figura 5.12, granulară cu stabilitatea dată numai de frecarea uscată dintre particule. La sfârșitul acestui proces se anulează rezistența la întindere și forfecare iar rezistența la compresiune devine minimă.

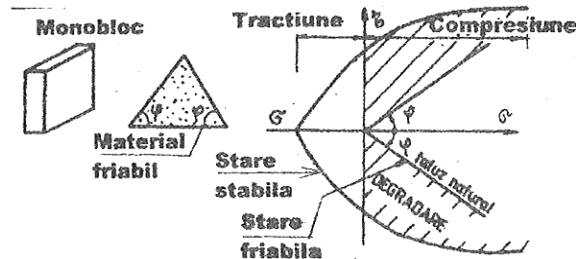


Fig. 5.12. Fenomenul degradării rocilor

b. Degradarea ductilă - proprie metalelor cu structura policristalină, se manifestă prin reșezarea cristalelor în timpul curgerii și al ecrusării. În cazul acțiunii seismice cel mai bun material nu este nici cel mai ductil și nici cel mai rezistent, ci materialul cel mai stabil la degradare ciclică.

Degradarea ductilă la zidării se consideră în mod diferențiat pentru fiecare fel: zidărie comună, zidărie armată, zidărie confinată și zidărie înrămată. Ideea plastificării secțiunilor la zidăria comună nu are sens deoarece peretele are o mișcare de corp rigid ca urmare a fisurilor dezvoltate la extremitățile peretelui din efectul de încovoiere. La acest fel de zidărie ductilitatea este o mărime care apreciază disiparea energiei seismice prin fisurarea unităților de zidărie și a mortarului.

Plastificarea secțiunii a unui perete sau formarea articulațiilor plastice este evidențiată în cazul zidăriei armate la cedarea de încovoiere. Comportarea ductilă a peretelui și disiparea energetică se datorează rotației peretelui când armătura curge sau se zdrobesc unitățile de zidărie. Supusă acțiunii unei încărcări laterale care obligă zidăria să lucreze în domeniul nelinear, armătura orizontală preia majoritatea încărcării. În starea ultimă rezistența peretelui poate fi atribuită armăturii din asize cu toate că aceasta este departe de limita de curgere.

La zidăria confinată stâlpișorii (stâlpii tirant) contribuie la comportarea ductilă a peretelui, fapt evidențiat de capacitatea sporită de disipare energetică a ansamblurilor de zidării încercate pe platforme vibrante. Panoul de zidărie se poartă monolit, înainte de apariția primelor fisuri importante datorită forfecării. Cedarea de forfecare survine când fisurile se propagă în stâlpii tirant în starea ultimă. După fisurarea betonului barele verticale preiau încărcarea laterală prin mecanismul de dorn. Pe durata fenomenului zidăria de la mijlocul panoului se zdrobește înainte de colaps ca urmare a flambajului unor bare verticale din elementele de confinare.

Zidăria înrămată este construită după structura principală, astfel că ea nu participă la preluarea acțiunilor verticale. Ea poate contribui la preluarea forțelor dinamice (deplasări laterale, perioada oscilațiilor libere sunt influențate de prezența zidăriei). În cazul micilor oscilații, forțele laterale sunt preluate de zidărie, (miezul rigid) deoarece contribuția sistemului flexibil principal (cadru din beton armat) este neglijabilă la deplasări mici. La acțiuni seismice sporite zidăria cedează casant și are loc redistribuirea încărcării între zidăria rămasă activă și sistemul de rezistență principal. Panoul disipă energia seismică și împiedică deformațiile mari ale cadrelor. Zidăria înrămată poate fi executată astfel încât să fie un element nestructural, separat prin detalii adecvate de sistemul principal. În acest caz ea nu participă la preluarea forțelor laterale și nici la împiedicarea vibrațiilor structurii. Se semnalează cazuri când forțele de interacțiune care se dezvoltă la contactul zidăriei cu cadrul cauzează o comportare neașteptată a structurii însoțită de avarii severe la elementele structurale.

## 152 CONSIDERAȚII PRIVIND COMPORTAREA CONSTRUCȚIILOR LA CUTREMURE - 5

Avarii ale pereților portanți la clădirile din zidărie - cele mai des întâlnite avarii la clădirile din zidărie sunt fisurile care se deschid devenind crăpături. Fisurile sunt cauzate de tensiunile principale de întindere care parcurg zonele slabe (ca secțiune și rezistență) ale pereților. Locul de pornire a acestor fisuri se situează la colțul golurilor de fereastră sau ușă. Fisura poate fi pe diagonală, înclinată la aproximativ  $45^\circ$  sau în forma literei x - forțele seismice fiind reversibile figura 5.13. Dacă golurile se înalță până în apropiere de grinzile de centură fisurile parcurg montanții (șpaletți) dintre goluri, figura 5.14.a. Același fapt se consemnează dacă șpaletți dintre goluri, au rezistență la forfecare mai mică decât parapetul de sub golul de fereastră. Dacă parapetul inferior sau superior, golului de fereastră (sau ușă) nu rezistă la forfecare, fisurile se dezvoltă în șpaletți figura 5.14.b.

Fisurile verticale pe înălțimea peretelui sunt o consecință a forțelor generate de vibrațiile perpendiculare pe planul peretelui, figura 5.13. Aceste fisuri se dezvoltă în zonele de vecinătate cu alți pereți, la colțuri, intersecții și ramificații unde forța tăietoare cauzează tensiuni care depășesc rezistența  $f_{x2}$  a zidăriei.

Fisurile horizontale în vecinătatea planșeelor sunt o consecință a vibrațiilor perpendiculare pe planul peretelui unde forța tăietoare cauzează tensiuni care depășesc rezistența  $f_{x1}$  a zidăriei. Fisurile horizontale din vecinătatea planșeelor pot fi o consecință a efectului de torsiune al acțiunii seismice.

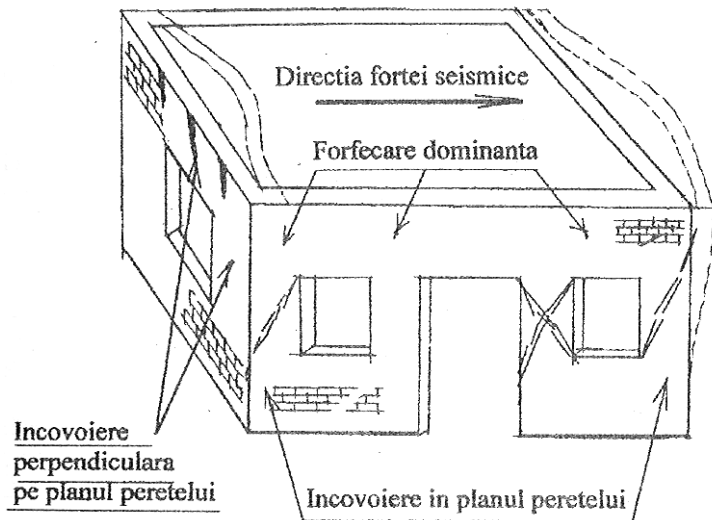


Fig. 5.13. Avarii la pereții din zidărie corelate cu direcția cutremurului

Fisurile, crăpăturile sunt discontinuități ale materialului cu efect de reducere până la anularea caracteristicilor secționale: arie, arie de forfecare, modul de rezistență.

Zdrobirea mortarului ori a unităților din zidărie survine după fisurare. Fenomenul este consecința însumării compresiunii din încărcările verticale și din momentul încovoietor generat de forțele seismice căreia i se opune o zonă de arie mult mai redusă decât cea inițială.

Deplanarea pereților, ieșirea lor de pe aliniamentul inițial este o consecință a lunecărilor de forfecare cauzate de forțele seismice.



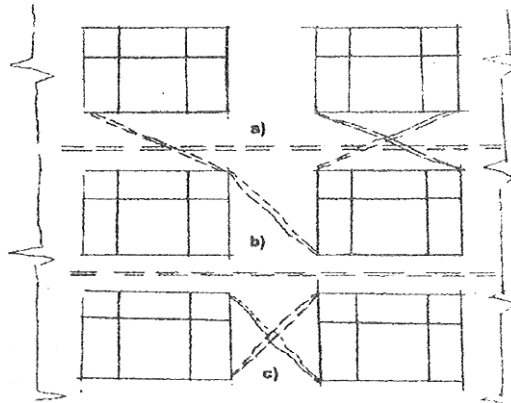


Fig. 5.14. Fisurarea montanților și/sau a parapetilor

### 5.7.2. Clase de vulnerabilitate ale clădirilor din zidărie

Marea majoritate a clădirilor din zidărie au fost afectate de cutremurele puternice fiind avariate serios sau prăbușite. Prin expertizarea avariilor s-au identificat următoarele tipuri: fisuri în pereți și planșee, fisuri la colțuri, intersecții sau ramificații, prăbușiri parțiale sau totale în afara planului pereților, fisurarea plinurilor dintre golurile de uși sau ferestre, fisuri în diagonală sau în X în pereții structurali, prăbușirea parțială sau totală a clădirii. Pe baza analizei avariilor EC8 prezintă o clasificare a vulnerabilității clădirilor din zidărie redactată în tabelul 5.7.

Pe baza analizei avariilor s-au definit mecanismele sub care lucrează fiecare perete individual și clădirea în ansamblul ei. Aceste mecanisme permit modelarea sistemului structural și precizarea forțelor seismice care se manifestă pe fiecare element al modelului.

Tabelul 5.7

Clase de vulnerabilitate la cutremur a clădirilor din zidărie

Tipul de zidărie	Clasa de vulnerabilitate					
	A	B	C	D	E	F
Piatră brută neprelucrată	▲					
Cărămizi nearse	▲					
Piatră simplă		▲				
Piatră masivă			▲			
Cărămizi arse, blocuri din beton*		▲				
Cărămizi arse și planșee din b.a.			▲			
Cărămizi cu armătură din oțel și zidărie confinată				▲		

\* - clădirile din cărămizi arse, blocuri din beton pot intra în clasele de vulnerabilitate A, B și C

### 5.7.3. Clasificarea avariilor la clădirile din zidărie

Avariile construcțiilor constituie dovezi persistente cu o largă și o profundă influență asupra codurilor de proiectare, analizei sistemelor structurale, procedurilor și tehnologiei de execuție și măsurilor de exploatare și întreținere a clădirilor. Astfel EC8 stabilește gravitatea avariilor clădirilor din zidărie în tabelul 5.8.

Tabelul 5.8

Clasificarea avariilor clădirilor din zidărie

Gradul avariei	Denumirea și descrierea avariei
1	<b>Avarie neglijabilă</b> - elementele structurale nu prezintă nici un fel de avarie, fisuri fine ca firele de par în câțiva pereți; mici bucăți de tencuială căzute; pietre de la partea superioară căzute numai în câteva cazuri;
2	<b>Avarie moderată</b> - elementele structurale prezintă o ușoară avarie iar cele nestructurale avarie moderată; fisuri în mulți pereți, căderea unor bucăți de tencuială relativ mari, căderea parțială a coșurilor de fum;
3	<b>Avarie substanțială (gravă)</b> - avaria este moderată la elementele structurale iar elementele nestructurale au avarie pronunțată; fisuri largi și extinse în cei mai mulți pereți; coșurile de fum sunt distruse până la acoperiș; căderea individuală a elementelor nestructurale;
4	<b>Avarie foarte gravă</b> - avarie serioasă la elementele structurale și foarte grea avarie la elementele nestructurale; căderi serioase de pereți; parțial colaps
5	<b>Distrugere</b> - avarie structurală foarte gravă - colaps total sau aproape total

#### 5.7.4. Scara europeană a intensității seismice pentru clădirile din zidărie

Scările de intensitate seismică folosite de inginerii constructori se bazează pe reacția obiectelor mediului ambiant, pe avariile produse la construcții și înregistrările instrumentale efectuate cu un pendul etalon. Scara europeană a intensității seismice pentru clădirile din zidărie combină violența mișcării bazei de rezemare cu clasele de vulnerabilitate a clădirilor din zidărie și cu avariile acestora.

Gradațiile scării seismice europene au la baza următoarele criterii:

1. Efectele cutremurului asupra oamenilor;
2. Reacția obiectelor mediului ambiant;
3. Avariile constatate la clădirile din zidărie;

În baza acestor criterii s-au precizat gradațiile scării coroborând gradul avariei și clasa de vulnerabilitate a clădirii. Gradațiile scării ca și denumirea lor convențională sunt:

- I. Nu se simte - nu se simte chiar în cele mai favorabile condiții; fără efect; fără avarie;
- II. Simțit ușor - scuturarea este simțită de puțin oameni aflați înăuntru, în condiții de odihnă; fără efect; fără avarie;
- III. Slab - simțit de persoane aflate înăuntru; persoanele care se odihnesc simt o ușoară balansare și tremur; Obiectele se balansează ușor; fără avarie;
- IV. Bine simțit - cutremurul este simțit atât înăuntru cât și afară, unele persoane se trezesc din somn; Nivelul vibrațiilor este moderat, s-au observat ușoare balansări sau zguduituri la clădiri, în camere sau paturi; paharele, geamurile, ușile zornăie;
- V. Puternic - cutremurul este simțit de majoritatea persoanelor din interior și de unele din exterior, câteva persoane pot fi înspăimântate și fug afară, multe persoane se trezesc din somn, s-a observat scuturarea puternică a clădirii, camerei sau a mobilierului; Obiectele agățate se balansează considerabil. Vesela, bibelourile zornăie puternic. Obiectele mici dar grele susținute precar pot fi mutate din poziția lor sau cad. Ușile, ferestrele deschise se închid și deschid. În câteva cazuri, crapă sticla de la ferestre. Lichidele oscilează în vase și se pot revărsa din recipiente pline. Animalele de interior pot deveni ușor agitate; Avarie de gradul 1 la câteva clădiri;
- VI. Cu ușoare avarii - simțit de cei mai mulți oameni din interiorul și exteriorul clădirilor. Câteva persoane își pierd echilibrul. Multe persoane intră în panică și fug afară. Obiectele mici de stabilitate obișnuită pot cădea iar mobilierul se poate muta din loc. În unele situații vesela și sticlăria se sparge. Avarie de gradul 2 la câteva clădiri;
- VII. Avariator - multe persoane sunt îngrozite și încearcă să ajungă afara. Multe persoane au greutate în a-și păstra poziția verticală stabilă, mai ales când sunt în încăperi la partea superioară a clădirilor; Mobilierul este mutat din loc, componentele cu părți grele la partea superioară se răstoarnă. Numeroase obiecte cad de pe etajere. Lichidele plescăie în recipiente.

Tabelul 5.9

Clasa de vulnerabilitate a clădirii

Clasa de vulnerabilitate a clădirii	Gradul de avarie				
	1	2	3	4	5
A			Multe	Câteva	
B		Multe	Câteva		
C		Câteva			
D					
E					
F					

VIII. Aspru avariator - multe persoane se mențin greu în echilibru chiar afară. Mobilierul se răstoarnă. Obiecte ca mașini de scris, computere, aparate de radio, TV cad. Pietrele funerare pot fi deplasate, răsucite ori răsturnate. Terenul poate prezenta undulații;

Tabelul 5.10

Clasa de vulnerabilitate a clădirii

Clasa de vulnerabilitate a clădirii	Gradul de avarie				
	1	2	3	4	5
A				Multe	Câteva
B			Multe	Câteva	
C		Multe	Câteva		
D		Câteva			
E					
F					

IX. Distructiv - panică generală. Mulți oameni pot fi trântiți la pământ; multe monumente și coloane cad sau se răsucesc pe soclu. Terenurile moi prezintă undulații.

Tabelul 5.11

Clasa de vulnerabilitate a clădirii

Clasa de vulnerabilitate a clădirii	Gradul de avarie				
	1	2	3	4	5
A					Multe
B				Multe	Câteva
C			Multe	Câteva	
D		Multe	Câteva		
E	Câteva				
F					

X. Foarte distructiv

Tabelul 5.12

Clasa de vulnerabilitate a clădirii

Clasa de vulnerabilitate a clădirii	Gradul de avarie				
	1	2	3	4	5
A					F. Multe
B					Multe
C				Multe	Câteva
D			Multe	Câteva	
E		Multe	Câteva		
F		Câteva			

XI. Devastator

Tabelul 5.13

Clasa de vulnerabilitate a clădirii

Clasa de vulnerabilitate a clădirii	Gradul de avarie				
	1	2	3	4	5
A					
B					F. Multe
C				F. Multe	Multe
D				Multe	Câteva
E			Multe	Câteva	
F		Multe	Câteva		

XII. Complet devastator - practic toate construcțiile situate deasupra solului sunt distruse;

Clădirile din zidărie sunt structuri tipice din diafragme care lucrează atât la încărcări verticale cât și încărcări orizontale. Pereții sunt dispuși pe două direcții ortogonale și legați între ei prin planșee. Pereții pot avea goluri de uși și/sau ferestre. Din motive tehnologice (variația dimensiunilor pereților nu este posibilă) și din cauza calității materialelor constitutive, în pereți vor exista câteva secțiuni stesate puternic în condițiile încărcării de proiectare. În consecință capacitatea portantă efectivă a elementelor structurale este mai mare.

Rezistența la cutremur a structurii este ajutată de ductilitatea pereților, din cauza ductilității, capacitatea portantă a pereților structurali este menținută în ciuda avariei, deformației și/sau deplasării cauzate de cutremur. Ductilitatea pereților face posibilă redistribuirea încărcării seismice de la pereții cu avarii mari la pereții mai puțin avariați sau neavariați. Tot datorită ductilității, are loc disiparea energiei pe durata cutremurului. Structura sau o parte din ea rezistă încărcării seismice cât timp nu apare un mecanism de cedare. Evident că în cazul mecanismului, forțele de inerție (efectul acțiunii seismice) nu mai sunt distribuite între pereți, în conformitate cu teoria structurilor elastice. În cazul în care rezistența structurii este determinantă pe baza mecanismului ultim diferența dintre capacitatea portantă de proiectare și solicitarea seismică efectivă se reduce la minimum.

Rezistența mică la tracțiune a zidăriei și prezența unui sistem de fisuri care întrerupe continuitatea peretelui conduce la necesitatea consolidării rezistenței numai a unor porțiuni de perete, neglijând rezistența acelor porțiuni fisurate. Aceasta este o prima dificultate a analizei comportării dinamice a pereților din zidărie.

### **5.7.5. Comportarea seismică a unui perete în ipoteza elasto - plastică**

Raționamentul se conduce acceptând inițial comportare elastică, apoi comportarea perfect plastică și conservând ipoteza secțiunilor plane până la colaps. Comportarea la forța orizontală se discută după săgeata orizontală  $\Delta$  din care rezultă rigiditatea peretelui în domeniul respectiv.

Astfel se pot preciza următoarele date pentru un perete:

a. săgeata și rigiditatea peretelui în domeniul elastic din forfecare:

$$\Delta = \frac{Ph}{GA}; R = \frac{GA}{h} \quad (5.2)$$

b. săgeata și rigiditatea peretelui în ipoteza comportării elastice din forfecare și încovoiere:

$$\Delta = \frac{Ph}{GA} + \frac{Ph^3}{12EI}; R = \frac{A}{h \left( \frac{1}{G} + \frac{h^2}{EI^2} \right)} \quad (5.3)$$

c. săgeata și rigiditatea în ipoteza comportării plastice din forfecare și încovoiere:

$$\Delta = \frac{Ph}{GA} + \frac{Ph^3}{3EI}; R = \frac{A}{h \left( \frac{1}{G} + 3 \frac{h^2}{Eb^2} \right)} \quad (5.4)$$

Odată ce deplasarea limită elastică  $\Delta_e$  a fost depășită se consideră comportarea plastică cu un factor de ductilitate  $\mu$  cu valori între 1 - 2.

Rezistența caracteristică ultimă de forfecare a peretelui  $P_u$  respectiv de compresiune este:

$$P_U = f_{vk} A \alpha_t \quad (5.5)$$

$$N_U = f_k A \alpha_U \quad (5.6)$$

în care a intervenit rezistența caracteristică la forfecare  $f_{vk}$ , rezistența caracteristică  $f_k$  a zidăriei și coeficienții de reducere ai secțiunii zidăriei  $\alpha_t$ ,  $\alpha_U$ .

În domeniul comportării elastice, al micilor deformații, considerând planșul șaibă rigidă, repartiția forței  $S$  pe cei trei montanți se face proporțional cu rigiditatea fiecăruia. Întrucât deplasarea este aceeași:

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 \quad (5.7)$$

se transcrie funcție de încărcare și rigiditate :

$$\frac{S_1}{K_1} = \frac{S_2}{K_2} = \frac{S_3}{K_3} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{K_1 + K_2 + K_3} = \frac{S}{\sum K_i} \quad (5.8)$$

rezultă:

$$S_k = \frac{K_k}{\sum K_i} S \quad k = 1, 2, 3 \quad (5.9)$$

Când limita a fost depășită, rigiditatea începe să descrească, rigiditatea devine secantă, până la colaps. Colapsul se poate întâmpla când:

- prin atingerea deplasării ultime într-unul sau mai mulți montanți
- prin intrarea în domeniul plastic a tuturor montanților

Comportarea descrisă mai sus este ipotetică, comportarea reală este diferită din cauza aproximațiilor intrinseci a raționamentului teoretic. În cazul real al unei clădiri care prezintă goluri de uși și/sau ferestre apar fisuri care reduc sever rigiditatea care în final se anulează.

### 5.7.6. Sistemul cutie

Cele mai multe clădiri din zidărie sunt realizate în sistem cutie. Legătura celor patru pereți este condiția necesară pentru preluarea forțelor orizontale. Un perete izolat nu are rezistență la acțiuni orizontale perpendiculare pe planul lui dar este foarte rigid la acțiuni dirijate în planul lui.

Analiza comportării seismice a clădirilor uzual se face pe două direcții orizontale ortogonale și o posibilă direcție verticală. Dacă se consideră un simplu sistem cutie alcătuit din 4 pereți, la o forță orizontală este realist să se considere că lucrează numai doi pereți paraleli cu direcția forței, iar planșul este rigid în planul lui.

Studiul trebuie să evalueze încărcarea verticală care se găsește la fiecare nivel și cum se distribuie ea pe perete. Forța orizontală care revine fiecărui perete este proporțională cu încărcarea verticală.

$$S_k = \alpha \cdot N_k \quad k = 1, 2, 3 \quad (5.10)$$

unde  $\alpha$  este factorul de proporționalitate derivat din spectrul de nivel al accelerației seismice.

### **5.7.7. Evoluția metodelor de calcul**

Metodele de dimensionare a elementelor de construcții exploatează în mod deosebit capacitatea portantă a acestora.

Dacă se folosește metoda rezistențelor admisibile pentru proiectare și teoria structurilor elastice, încărcarea seismică se distribuie pe pereții unui nivel (etaj) proporțional cu rigiditatea fiecăruia. În acest context se constată că nu este posibil ca elementele structurale ale clădirii să atingă simultan rezistența admisibilă. În metoda stărilor limită capacitatea portantă a pereților structurali este determinată folosind factorii siguranței parțiale și se compară cu solicitările rezultate din calculul teoriei structurilor elastice. Metoda ia în considerare modurile de cedare specifice și posibile ale pereților individuali. În acest fel se estimează mai bine capacitatea portantă reală a structurii la acțiunea cutremurului. Totuși, dacă nu se consideră redistribuirea încărcării orizontale, structura va avea o rezervă de rezistență considerabilă. Folosirea mecanismelor de cedare oferă avantajul exploataării ductilității sub forma:

- disiparea unei cantități din energia seismică prin avariarea unor pereți;
- redistribuirea încărcării seismice între pereții cu sau fără avarie;

Funcție de distribuirea elementelor cu severe nelinearități în comportare se dezvoltă mecanismul de colaps parțial sau total. Rezerva de rezistență a unei clădiri corelată cu metoda de proiectare.

### **5.7.9. Ipoteze simplificatoare**

Pentru calculul seismic construcția se modelează pe seama unui set de ipoteze simplificatoare:

- Planșeele sunt considerate șaibe rigide, dale cu rigiditate mare în planul lor, deci ele nu se deformează ci se translatează sub acțiunea unei forțe orizontale. Pereții structurali sunt legați între ei prin dalele planșeelor și/sau grinzile de centură astfel ca aceiași deplasare de nivel este înregistrată de fiecare perete. Ipoteza permite ca forța orizontală de nivel care acționează la nivelul planșeului să fie distribuită proporțional cu rigiditatea fiecărui perete. Deplasările diferențiate rezultate din efectul de torsiunii seismice se distribuie de asemenea proporțional cu rigiditatea;
- Calculul forțelor seismice se derulează în modul fundamental de oscilație al clădirii. Deformata clădirii în modul fundamental poate fi asimilată cu un triunghi cu vârful la baza clădirii;
- Pereții se consideră stâlpi cu ambele capete fixe iar parapetul dintre ei, grinda de cuplare articulată de stâlpi;



- Pereții rezistă la deplasări laterale impuse până la atingerea capacității de ductilitate. Deși ei cedează la încărcarea laterală, se presupune ca preiau în continuare încărcările verticale;
- Capacitatea portantă a unui etaj trebuie să rezulte ca o înfășurătoare a capacităților pereților de rezistență ai etajului respectiv;
- Înfășurătoarea de rezistență a unui perete se evaluează folosind relațiile pentru rezistență la forfecare pe baza rigidității inițiale; o idealizare bi-lineară sau tri-lineară a răspunsului peretelui la forța orizontală;
- Contribuția individuală a unui perete la rezistența laterală a nivelului (etajului) depinde de deplasarea laterală atribuită peretelui respectiv și de înfășurătoarea de rezistență a acestuia;
- Clădirile în forma de L, T, H, etc. Trebuie considerate separate prin rosturi verticale în dreptunghiuri;

### 5.7.9. Modelul structural

#### 5.7.9.1. Alcătuirea modelului dinamic

Construcția unui model structural pentru evaluarea forțelor seismice angajează masa inerțială, rigiditatea de nivel, modulul fundamental de oscilație și inputul seismic.

Masa inerțială activată de mișcarea seismică se evaluează pentru fiecare nivel și provine din:

- încărcările gravitaționale provin din învelitoare, structura acoperișului, planșeul și stratificația lui, pereții despărțitori, echipamente;
- încărcările temporare de lungă durată (utile);
- greutatea sistemului de rezistență;

Având în vedere caracterul aleator al încărcărilor temporare masa inerțială de la un nivel rezultă din încărcarea :

$$G_k = \sum_{j=1} G_{kj} + \sum_{j=1} Q_{kj} \psi_{Ei} \quad (5.11)$$

$$\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i} \quad (5.12)$$

În care  $\psi_{Ei}$  este factorul de participare la combinația încărcării variabile și provenit din factorul de participare al încărcării și amendat de coeficientul de reducere  $\varphi$ , tabelul 5.14.

#### 5.7.9.2. Rigiditatea de nivel

Rigiditatea unui nivel pe direcția acțiunii seismice se obține însumând rigiditățile pereților care au latură lungă a secțiunii orizontale paralelă cu această direcție. Conform EC8, rigiditatea unui perete se evaluează considerând deformația de forfecare. Dacă deformația axială este relevantă se recomandă a fi luată în seamă. Calculul rigidității peretelui unui etaj ține seama de condițiile lui de rezemare sus și jos în cele două planșee. Planșeele se consideră rigide în planul lor dacă eventualele goluri nu afectează semnificativ rigiditatea lor.

Tabelul 5.14

Coeficientul de reducere al încărcării temporare

Destinația etajului	Modul de dispunere a încărcării pe planșee	Poziția planșeului	$\varphi$
Locuințe, birouri, colectivități de oameni	Etaje cu încărcări independente	Ultimul etaj	1.0
		Alte etaje	0.5
Locuințe, birouri, colectivități de oameni	Unele etaje au încărcări corelate	Ultimul etaj	1.0
		Etaje cu ocupare corelată	0.8
		Celelalte etaje	0.5
Clădiri pentru depozite, parcuri, centre comerciale			1.0

Rigiditatea unui perete de forfecare se evaluează în mod diferențiat, de la caz la caz. Un perete cu goluri de uși, ferestre, se modelează printr-un cadru în care șpaletii se consideră stâlpi iar parapetei grinzi de cuplare. Cadrele care modelează pereții unui nivel se pliază într-un singur cadru, rigiditățile elementelor se adună. Prin adunarea rigidităților elementelor verticale ale cadrului echivalent se obține rigiditatea de etaj. Procedul este valabil pentru fiecare nivel. În final, schema geometrică a modelului dinamic al clădirii este o consolă cu mase concentrate la fiecare nivel, fiecare nivel având rigiditatea lui proprie.

### 5.7.9.3. Modulul fundamental de oscilație

Cu mărimile precizate mai sus se redactează și se rezolvă problema valorilor proprii din dinamica construcțiilor. Aceasta constă din:

$$\det([M] - \lambda \cdot [K]) = 0 \quad (5.13)$$

$$([M] - \lambda \cdot [K])\{\phi\} = \{0\} \quad (5.14)$$

Aceste expresii reprezintă o ecuație algebrică cu necunoscută  $\lambda$  respectiv un sistem de ecuații lineare și omogene cu necunoscutele  $\{\phi\}$ . În problemă intervin notațiile  $\{M\}$  = matricea maselor inerțiale și respectiv,  $\{K\}$  = matricea de rigiditatea. Valoarea proprie  $\lambda$  are expresia :

$$\lambda = \frac{1}{\omega^2} = (T/2\pi)^2 \quad (5.15)$$

cu notația  $\omega$  pentru frecvența circulară proprie și T pentru perioadă.

### 5.7.9.4. Aproximarea modulului fundamental

Clădirile din zidărie sunt construcții rigide cu perioada modulului fundamental  $T < 0,4$  sec.

Forma inițială de oscilație poate fi aproximată cu un triunghi cu vârful în jos sau cu o variație sinusoidală. Amplitudinea nivelului  $k$  se scrie:

$$\phi_k = h_k / H \quad (5.16)$$

$$\text{respectiv} \quad \phi_k = \sin(\pi h_k / 2H) \quad (5.17)$$

### 5.7.10. Inputul seismic de proiectare

Acțiunea seismică considerată sub forma spectrului accelerației terenului a dat rezultate corespunzătoare în cele mai multe cazuri. Din cauza avariilor seismice s-a dedus concluzia că cele mai multe structuri rezistă la acțiunea seismică în domeniul nelinear de comportare al zidăriei. Pe durata unui cutremur rigiditatea clădirii scade, perioada oscilațiilor variază și energia disipată crește. Analiza dinamică nelinara este o cale sigură de obținere a unor informații realiste privind răspunsul seismic al clădirilor. Pentru a evita o analiză nelinara complexă și pretențioasă, se preferă practicarea unor modele simple în domeniul elastic care folosesc ca input seismic un spectru convențional al accelerației terenului.

Cunoscând amplasamentul clădirii se precizează vârful accelerației terenului vreodată resimțit în amplasamentul dat  $a_t = \alpha \cdot g$ . Coeficientul intensității seismice  $\alpha$  rezultă din zonarea seismică a teritoriului iar pentru principalele intensități MSK este reprodus tabelul 5.15. Pe baza perioadei modului fundamental (calculată sau aproximată) se determină coeficientul dinamic al acțiunii seismice  $\beta_0$ . Proiectantul stabilește de la început sistemul structural al clădirii ceea ce permite precizarea coeficientului comportării seismice  $q$  al clădirii.

Inputul seismic real aplicat la baza clădirii este spectrul real al accelerației terenului în forma adimensională:

$$S_t = \alpha \cdot \beta_0 \quad (5.18)$$

În conformitate cu EC8 spectrul de proiectare al accelerației terenului ține seama de natura terenului (coeficientul  $s$  dat de clasa terenului) și de amortizare (coeficientul  $\eta$ ), astfel că el se transcrie sub forma unui spectru redus:

$$S_{red,d} = \alpha \cdot \beta_0 \cdot \eta \cdot s \frac{1}{q} \quad (5.19)$$

De cele mai multe ori clădirile din zidărie sunt rigide cu perioadă mică  $T < 0,4$  sec ceea ce implică  $\beta_0 = 2,5$ , parametrul terenului  $s = 1$  și factorul amortizării  $\eta = 1$ . În tabelul 5.15. s-a calculat valoarea spectrului real și valoarea spectrului convențional de proiectare al accelerației terenului pentru principalele intensități seismice MSK.

Din tema de proiectare se cunoaște destinația clădirii. Acesta impune un anumit grad de protecție seismică dat de coeficientul clasei de importanță al clădirii. Amplificarea valorii spectrului accelerației cu factorul clasei de importanță conduce la valoarea convențională a spectrului accelerației de proiectare pentru o clădire cu destinația precizată situată într-un amplasament nominalizat.

Tabelul 5.15

Spectrul real și spectrul de proiectare redus al accelerației pentru diferite intensități seismice și sisteme structurale din zidărie

Tipul zidăriei	Factorul comportării	Felul spectrului	Intensitatea seismică MSK		
			VII	VIII	IX
			Vârful accelerației $a_t$		
			0,10 g	0,20 g	0,40 g
Obișnuita	1,5	Real	0,25 g	0,50 g	1,0 g
		Redus	0,17 g	0,33 g	0,67 g
Confinata	2,0	Real	0,25 g	0,50 g	1,0 g
		Redus	0,125g	0,25 g	0,50 g
Armata	2,5	Real	0,25 g	0,50 g	1,0 g
		Redus	0,10 g	0,20 g	0,40 g

### 5.7.11. Verificarea rezistenței seismice globale a unei clădiri din zidărie

În conformitate cu EC8, la clădiri trebuie verificat sistemul structural din punct de vedere al rezistenței și al proprietăților de ductilitate. Verificarea de rezistență se referă la capacitatea structurii de a suporta deformații nelineare fără să-și piardă stabilitatea. La clădirile din zidărie se acceptă avaria în domeniul nelinear, dar mărimea ei să nu periclitizeze starea limita de serviciu. Datorită configurației lor verificarea stării limita de serviciu nu este necesară.

Starea limită de rezistență se verifică în termenii:

a. *Capacitatea portantă a secțiunii elementelor de rezistență* de la nivelul considerat (mai ales la bază) se compară cu solicitarea rezultantă a combinației de încărcări extraordinare. În mod simplificat se compară forța tăietoare dezvoltată de cutremurul de proiectare cu capacitatea de proiectare la forfecare a secțiunii pereților dispuși paralel cu direcția acțiunii seismice. Pentru fiecare nivel, inclusiv cel de bază se poate evalua capacitatea portantă la forfecare în diferite stadii de avarie (stadii de lucru al zidăriei). Mărimea capacității portante a nivelului se obține prin însumarea capacității portante a tuturor pereților. Inițial capacitatea portantă a unui perete este proporțională cu driftul, constanta de proporționalitate fiind rigiditatea elastică a zidăriei. Pe măsura ce driftul crește (forța laterală), au loc deformații nelineare și trebuie considerată rigiditatea secantă a peretelui (mai mică decât rigiditatea elastică). Așadar, capacitatea portantă inițială la forfecare a unui nivel  $k, k+1$  se scrie:

$$P_k = \sum_j P_{k,j} = \sum_j K_{k,j}^e \Delta_{k,k+1} \quad (5.20)$$

Întrucât mărimea driftului linear sau a driftului unghiular este direct implicată în mărimea capacități portante a nivelului considerat rezultă relația funcțională:

$$P_k = f_1(\Delta_{k,k+1}) = f_2(\phi_{k,k+1}) \quad (5.21)$$

$$\text{deoarece } \Delta_{k,k+1} = \varphi_{k,k+1} \cdot h_{etaj} \quad (5.22)$$

Mărimea capacități portante a nivelului considerat trebuie să depășească forța tăietoare seismică care acționează la nivelul considerat.

$$CRS_k = \frac{P_k}{G_{k,n}} \quad CRS_{TOT} = \frac{P_{BAZA}}{G_{TOT}} \quad (5.23)$$

în care  $G_{k,n}$  este greutatea nivelelor deasupra nivelului  $k$ , iar  $G_{TOT}$  este greutatea întregii clădirii:

$$G_{k,n} = \sum_{j=k+1}^n G_j \quad G_{TOT} = \sum_{j=1}^n G_j \quad (5.24)$$

În conformitate cu cele expuse în paragrafele anterioare pentru oricare nivel al clădirii se construiește înfășurătoarea capacități portante care pentru o utilizare facilă se liniarizează. Dacă se împart ordonatele acestor curbe cu greutatea de deasupra iar driftul linear se împarte cu înălțimea de etaj se obține variația coeficientului de rezistență seismică. Pentru ușurarea efectuării verificării de rezistență înfășurătoarea coeficientului de rezistență seismică se idealizează prin două linii drepte.

Verificarea rezistenței seismice a unei clădiri constă în compararea coeficientului seismic ultim de proiectare  $CSR_{du}$  cu coeficientul seismic global, cu alte cuvinte „oferta clădirii” cu „cerința cutremurului”.

$$CSR_{du} > CSB_d = S_{TOT,d} / G_{TOT} \quad (5.25)$$

b. *Verificarea ductilității*

Clădirile din zidărie sunt foarte rigide, de aceea factorul de participare al masei inerțiale totale în modul fundamental este foarte aproape de 1. Pe acest considerent se bazează analogia dintre sistemul cu o masă (pendulul invers) cu o clădire din zidărie în ceea ce privește deducerea factorului de ductilitate folosind supoziții energetice.

Dacă se folosesc valorile coeficientului comportării seismice pentru clădirile din zidărie recomandate de EC8, rezultă pentru factorul ductilității, valorile redactate în tabelul 5.16.

Factorul ductilității ultime pentru o clădire din zidărie în termenii rotirii (sau ai driftului unghiular) are expresia:

$$\mu_u = \phi_u / \phi_e \quad (5.26)$$

Tabelul 5.16

Factorul ductilității pentru clădiri din zidărie

Felul zidăriei	Coeficientul comportării	Factorul ductilității
	$q$	$\mu$
Obişnuită	1,5	1,6
Confinată	2	2,5
Armată	2,5	3,6

Rezistența unei clădiri din zidărie la acțiunea seismică se consideră îndeplinită conform EC8, dacă relația  $CSR_{du} > CSB_d = S_{TOT,d} / G_{TOT}$  este satisfăcută iar rezultatul dat de  $\mu_u = \phi_u / \phi_e$  depășește valoarea corespunzătoare din tabelul 5.11. Dacă rezultatul dat de  $\mu_u = \phi_u / \phi_e$  nu satisface cerința de ductilitate din tabelul de mai sus, atunci aceasta cerință trebuie verificată la un nivel de rezistență mai scăzut dar care să satisfacă relația  $CSR_{du} > CSB_d = S_{TOT,d} / G_{TOT}$ .

### 5.7.12. Metode de calcul ale clădirilor din zidărie

Modelarea cazurilor simple de mai sus nu este pertinentă pentru o întreaga clădire, deoarece sistemul cutie nu este ușor de identificat iar altele el nu există, ipotezele sistemului cutie nu funcționează. Metoda elementelor finite, MEF apare a fi mai potrivită iar forțele seismice pot fi aplicate în varianta „static echivalente”. La structurile din zidărie MEF trebuie aplicată cu multă atenție, iar rezultatele obținute trebuie controlate cu mai multă grijă decât la structurile din oțel sau beton armat. Spre deosebire de aplicarea MEF la structurile cu comportare linear elastică din oțel, lemn sau beton armat, la structurile din zidărie se procedează invers. Se concep câteva modele numerice înainte de a găsi modelul capabil să descrie cât mai apropiat construcția reală. Din cauza contribuției diferite a elementelor la rezistența totală a clădiri, este necesară precizarea rolului structural al unor elemente în raport cu celelalte. De pildă, contribuția pereților cu goluri sau a pereților nestructurali trebuie readusă sau anulată. Datorită prezenței fisurilor care reduc rezistența peretelui comportarea dinamică este inconsecventă datorită unei mișcări de amplitudine sporită și în consecință rezultatele sunt eronate.

În primul stadiu, zidăria ar putea fi modelată ca un material elastic omogen și izotrop. Această aproximare este acceptabilă până la apariția tensiunilor de întindere, respectiv a primelor fisuri în structură. Modelul elastic este folositor pentru înțelegerea calitativă a comportării mecanice a elementelor structurale și conduce frecvent la înțelegerea cauzei formării primelor fisuri. Modelele elastice pot reprezenta primul pas pentru „identificarea structurală” care va conduce la modelul mecanic posibil cât mai aproape de realitate.

După semnalizarea zonelor cu tensiuni de întindere trebuie aplicate alte metode lineare dar mult mai relevante, mai potrivite, anume cele nelineare. De exemplu, fisura poate fi luată în considerare chiar în modelul elastic prin ruperea continuității materialului de-a lungul fisurii. Dacă se aplică un model nelinear, rezultatele trebuie atent interpretate iar legile constitutive să fie corect definite. În concluzie este preferabil să se folosească cele mai simple modele cu scopul de a

avea un control constant asupra rezultatelor obținute și de a verifica realitatea și gradul de încredere al modelului în raport cu situațiile analizate.

Experiența modelării structurilor din zidărie permite semnalarea unor aspecte legate de discretizarea în elemente finite. Primul pas în oricare modelare MEF îl constituie alegerea nodurilor și a elementelor finite care urmează să fie folosite. Câteva criterii sunt recomandabile în acest sens:

- discretizarea geometrică (meșarea) trebuie să fie densă în acele zone unde se așteaptă gradienti mari de tensiuni sau tensiuni de întindere care vor conduce la formarea mecanismului de fisurare;
- elemente finite să aibă pe cât posibil forma regulată și dimensiuni sensibil aceiași.

Meșarea optimală la o structură din zidărie nu se obține ușor. Unele programe automate practică meșarea automată dintr-un anumit punct de vedere încorporat în program, exemplu optimizarea după extinderea „petei de ulei”. Generarea automată a elementelor finite este de cele mai multe ori nesatisfăcătoare din cauza complexității intrinseci a structurii. Întru-cât alte „criterii” nu pot fi identificate se preferă practicarea diferitelor meșări variind parametrii implicați și compararea preciziei mărimilor de ieșire.

Experiența modelării structurilor a permis precizarea câtorva linii de ghidare în construcția modelului unei structuri complexe. Dintre acestea se amintesc următoarele:

1. Alegerea modelului clădirii - modelul pe lângă descrierea geometrică, trebuie să fie capabil să prezinte o ierarhizare a elementelor de rezistență. La baza întocmirii modelului stau următoarele ipoteze simplificatoare:

- pereții neporanți nu iau parte la rezistența clădirii chiar dacă condiția de serviciu se aplică și lor;
- odată cu sistemul structural (montanți, arce, bolti, parapeteți) unele elemente pot fi modelate cu contribuție foarte redusă la rezistența globală sau complet neglijate. Un exemplu în acest sens îl constituie planșeele. Unele planșee sau elemente orizontale au rezistența redusă la tracțiune evidențiată de cutremurele puternice. Ele nu sunt capabile să transmită acțiunea orizontală la toate elementele structurale verticale. În acest caz este preferabil să nu se modeleze diafragma orizontală ci să se distribuie acțiunea orizontală la fiecare element vertical în concordanță cu încărcarea verticală care-i revine;
- la alegerea modelului trebuie văzut dacă el permite modelarea nelineară.

2. Modelarea substructurii clădirii - se recomandă exersarea analizei pentru elemente singulare sub acțiunea orizontală proporțională cu încărcarea verticală dar și analiza unor substructuri ale clădirii cu scopul îmbunătățirii cunoașterii comportării reale. În acest fel modelul global devine mai simplu deoarece are părțile componente sudate.

## 6. SOLUȚII DE FUNDARE PENTRU CONSTRUCȚII AMPLASATE ÎN ZONE SEISMICE

### 6.1. VARIANTE DE FUNDAȚII PENTRU A DIMINUA EFECTELE CUTREMURELOR

Dacă tasarea așteptată a terenului sau deplasarea laterală a unei structuri propuse este prea mare, vor trebui evaluate suporturi diferite de fundații sau opțiuni distincte de stabilizare a terenului. O alternativă o constituie metodele de îmbunătățire a terenului.

Pentru diminuarea hazardului de lichefiere la proiectarea și executarea clădirilor noi sau alte structuri gen poduri, tuneluri sau drumuri ar trebui luate în considerare următoarele aspecte:

1. Evitarea pământurilor susceptibile la lichefiere – acele amplasamente care conțin un depozit mare de pământuri care au un factor de siguranță redus la lichefiere;
2. Îmbunătățirea sau înlocuirea terenului de fundare – de exemplu, factorul de siguranță pentru fenomenul de lichefiere poate avea o valoare mai mare prin compactarea terenului de fundare și sau prin îmbunătățirea caracteristicilor de drenare a pământului respectiv. Acestea poate fi obținut prin diverse tehnici de îmbunătățirea terenului de fundare;
3. Structuri rezistente la fenomenul de lichefiere.

În locul îmbunătățirii terenului, fundația se poate proiecta pentru a rezista unei deplasări anticipate de teren cauzată de cutremure. De exemplu, fundații pe radier general sau infrastructuri rigide, pe suport sau dalele de beton precomprimate pot face ca o construcție să rămână intactă, chiar și cu deplasări substanțiale. O altă opțiune ar fi un sistem cu fundație adâncă, care să transfere sarcinile structurale în materiale de suport adecvat, pentru a ocoli un strat de teren compresibil sau lichefiabil. O a trei opțiune ar fi construirea unei fundații flotante, care este un tip special al unei fundații adânci, la care greutatea structurii este echilibrată prin îndepărtarea pământului și prin construirea unei temelii subterane. O fundație flotantă ar putea ajuta la reducerea cantității de tasări diferențiate a terenului cauzată de cutremure.

Factorii care stau la baza selectării tipului de fundație sunt prezentați în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

Selectarea tipului de fundație	
Tema	Discuții
Selectarea tipului de fundație	În urma analizei factorilor listați mai jos s-ar recomanda de către inginerul geotehnist un anumit tip de fundație (adică adâncime mică în funcție de adâncime)



Adâncimea adecvată	Fundația trebuie să aibă o adâncime adecvată pentru a preveni pagubele datorate înghețului. Pentru astfel de fundații cum ar fi pilele de pod, adâncimea fundației trebuie să fie suficient de mare pentru a preveni surparea prin eroziune.
Cedarea capacității portante	Fundația trebuie să fie protejată contra unei cedări a capacității portante.
Tasarea	Fundația nu trebuie să se taseze în așa măsură încât să deterioreze structura.
Calitatea	Fundația trebuie să aibă o calitate corespunzătoare pentru ca să nu fie subiectul deteriorării ca urmare a corodării cu sulfat.
Rezistența adecvată	Fundația trebuie proiectată astfel încât să aibă o rezistență suficientă pentru ca să nu se fisureze sau să cedeze sub influența sarcinilor de supraîncărcare. Fundația trebuie, de asemenea, construită în conformitate cu specificațiile din proiect.
Modificările adverse de teren	Fundația trebuie să fie capabilă să reziste timp îndelungat la modificările adverse de teren. Un exemplu îl constituie terenul care se dilată sau se contractă, determinând deplasarea fundației și deteriorarea structurii.
Forțele seismice	Fundația trebuie să fie capabilă să susțină structura pe perioada unui cutremur, fără tasarea excesivă sau deplasarea laterală.
Specificațiile solicitate	Fundația trebuie să îndeplinească cerințele speciale sau specificațiile solicitate de departamentul local de construcții sau de agenția guvernamentală.

## 6.2. Fundațiile directe

O fundație directă este selectată adesea atunci când sarcina structurală și efectele cutremurelor nu cauzează tasarea excesivă sau deplasarea laterală a straturilor de pământ situate dedesubt. În general, fundațiile de mică adâncime sunt mult mai economice din punct de vedere al costului de construcție, în comparație cu cele adânci. Tipurile obișnuite de fundații de mică adâncime sunt descrise în tabelul 6.2. și reprezentate în figurile 6.1. și 6.2.

Dacă se anticipează că în urma cutremurelor apar tasări excesive sau deplasări laterale, nu se recomandă în general reazeme izolate. Aceasta, deoarece fundația poate fi dată la o parte pe perioada cutremurelor, conducând la ruperea structurii. În schimb, se recomandă o fundație de suport (figura 6.2.) sau dale de beton precomprimate. Acest lucru se datorează faptului că astfel de fundații pot conduce la păstrarea intactă a construcțiilor, chiar și în cazul unor deplasări majore.

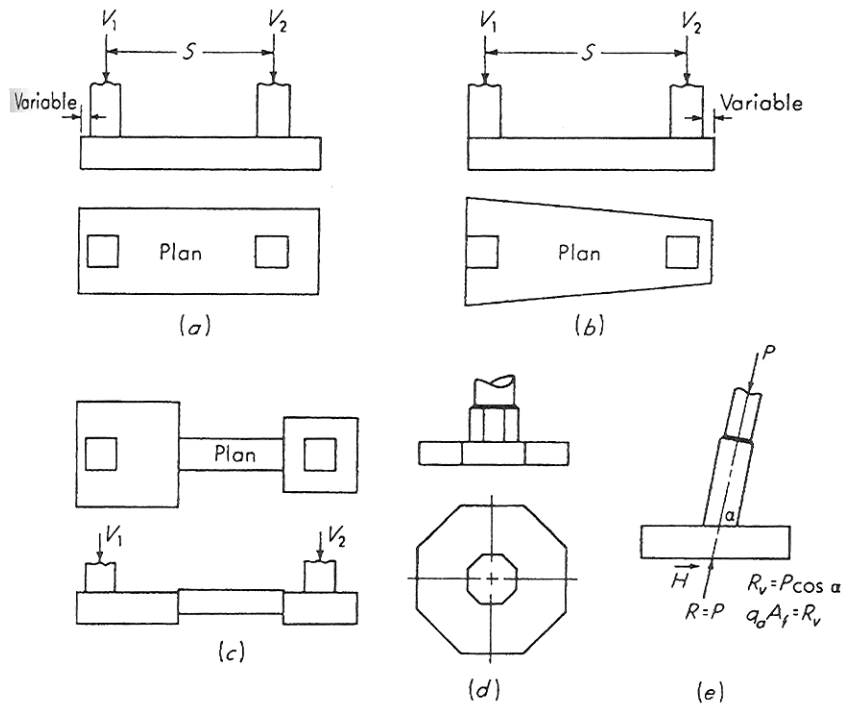


Fig. 6.1. Exemple de fundații directe. (a) Grindă de fundare cu secțiune constantă; (b) Grindă de fundare cu secțiune variabilă; (c) Fundații izolate cu grindă de echilibrare; (d) Fundații octogonale; (e) Fundații încărcate excentric cu rezultanta coincidentă cu suprafața astfel încât presiunea pe teren să fie uniformă.

Tabelul 6.2

Tipurile obișnuite de fundații de mică adâncime

Tema	Discuții
Fundații cu beton răspândit	Fundațiile cu beton răspândit sunt adesea pătrate în vedere plană, cu o grosime uniformă a betonului armat și sunt folosite la susținerea unei singure sarcini direct în centrul fundației.
Fundații continue	Fundațiile continue, cunoscute, de asemenea, ca fundații perete, sunt folosite adesea la susținerea pereților portanți de sarcină. Ele sunt în mod normal lungi, din beton armat cu lățime uniformă și adâncime mică.
Fundații combinate	Fundațiile combinate de beton armat sunt adesea dreptunghiulare sau trapezoidale în vedere plană și poartă mai mult de o coloană de încărcătură (vezi fig. 6.1.)
Alte tipuri de fundații	În figura 6.1. sunt reprezentate și alte tipuri de fundații, cum ar fi cele suport-consolă (cunoscute și drept bandă), o fundație octogonală și o fundație încărcată excentric, având rezultanta coincidentă cu suprafața, astfel încât presiunea

	terenului să fie uniformă.
Fundații radier	<p>Dacă se construiește o fundație radier la sau în apropierea suprafețelor de teren, aceasta se consideră ca fiind o fundație radier. În figura 6.2. se reprezintă tipuri distincte de fundații radier. Pe baza considerațiilor economice, fundațiile radier sunt adesea construite din următoarele motive :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fundații individuale mari: O fundație radier este construită adesea când suma suprafețelor individuale de fundații depășește jumătate din suprafața fundațiilor totale.</li> <li>2. Gropi sau zăcăminte compresibile: O fundație radier se poate folosi numai atunci când explorările substructurilor indică faptul că există tasări inegale cauzate de gropi mici sau de zăcăminte compresibile sub fundații. O fundație radier ar putea conduce la acoperirea gropilor mici sau zăcămintelor slabe și la crearea unor condiții de tasare mai uniforme.</li> <li>3. Tasarea pe adâncimi mici: O fundație radier se poate recomanda atunci când predomină tasarea pe adâncimi mici și când fundația radier ar minimiza tasările diferențiale.</li> <li>4. distribuția inegală a încărcărilor: Pentru anumite structuri, poate exista o diferență mare între încărcăturile de construcție care acționează pe diferite suprafețe ale fundației. Fundațiile convenționale cu beton răspândit ar putea fi subiectul unor tasări diferențiale excesive, dar o fundație radier ar putea tinde la distribuirea încărcărilor inegale ale construcției și la reducerea tasărilor diferențiale.</li> <li>5. Ridicarea hidrostatică: Atunci când fundația va fi subiectul unei ridicări hidrostatice datorită unui platou extins de ape subterane se poate folosi o fundație radier pentru a rezista forțelor de ridicare.</li> </ol>
Radiere convenționale	O fundație continuă de beton armat constă din fundații portante tip perete și din dale de calitate. Armarea cu beton constă adesea din bare de oțel în fundații și o rețea de cabluri în plăcile de beton.
Radiere post-tensionate	Dalele de calitate post-tensionate se folosesc în sudul Californiei și în alte părți ale Statelor Unite. Este un tip de fundație economică, atunci când terenul nu îngheață sau când adâncimea de pătrundere a înghețului este mică. Cele mai obișnuite utilizări ale dalelor de calitate post-tensionate sunt că ele rezistă la forțele expansive ale terenului sau când tasarea diferențială proiectată depășește valoarea tolerată a unor dale de calitate convenționale (ușor armate). De exemplu, se recomandă în mod frecvent dalele de calitate post-tensionate dacă tasarea diferențială poate

172 SOLUȚII DE FUNDARE PENTRU CONSTRUCȚII AMPLASATE ÎN ZONE SEISMICE-6

	<p>să depășească 2 cm.</p> <p>Instalarea și procedurile de inspectare a terenurilor la dale de calitate post-tensionate au fost pregătite de Institutul de post-tensionări (1996). Dalele de calitate post-tensionate constau din beton prevăzut cu tendoane de oțel încastrat care este introdus în pături de plastic groase. Pătura de plastic previne ca tendonul să ajungă în contact cu betonul și permite acestuia să gliseze în interiorul betonului întărit pe perioada operației de tensionare. În mod obișnuit tendoanele au un capăt mort (placă de ancorare) în grinda perimetrală (de margine) și un capăt tensionat la celălalt capăt. Totuși, Institutul de Post-tensionări (1996) nu recomandă tensionarea excesivă a tendoanelor la ambele capete, la peste 30 m. Institutul de post-tensionări (1996) furnizează, de asemenea, detalii tipice de ancorare a tendoanelor.</p> <p>Deoarece dalele de calitate post-tensionate se comportă mai bine (adică fisurare redusă a betonului ca urmare a contracției) decât dalele de calitate convenționale, ele sunt mult mai obișnuite chiar și în situațiile în care se așteaptă nivele mai scăzute de tasare.</p>
Pardoseli de lemn	Fundațiile perimetrare susțin grinzile de lemn și un sistem de pardoseli. Susținerea interioară este furnizată de fundațiile de căptușire sau bandă.
Alternative de fundații cu adâncimi mici	Dacă tasarea presupusă sau deplasarea laterală a unei fundații de adâncimi mici propusă este prea mare, trebuie evaluată o altă opțiune de susținere a fundației sau de stabilizare a solului. Alternative folosite în mod obișnuit includ fundații adânci, opțiuni de calitate sau alte tehnici de îmbunătățire a șantierului.

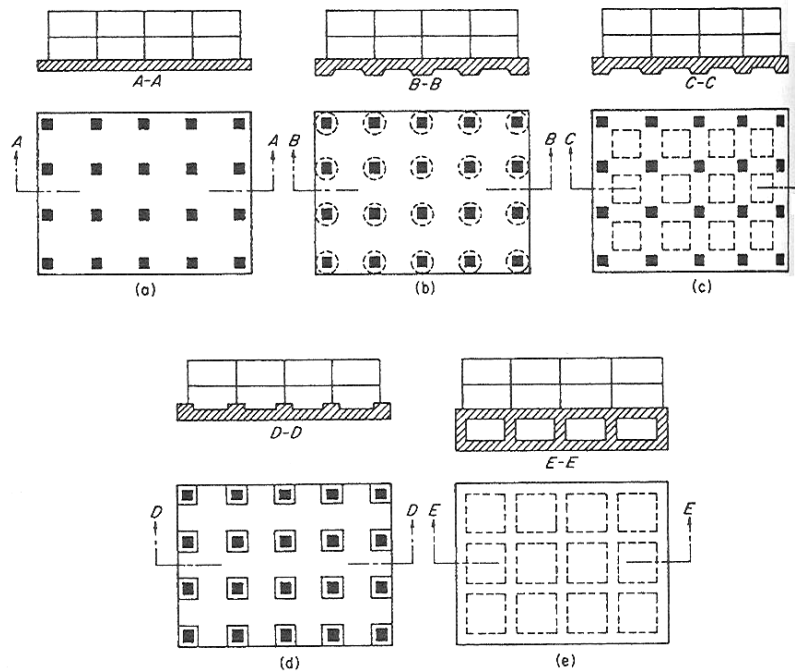


Fig. 6.2. Exemple de fundații radier.

### 6.3. Fundații adânci

Tipurile obișnuite de fundații adânci sunt descrise în tabelul 6.3. Caracteristicile tipice ale piloților și utilizarea acestora sunt prezentate în tabelul 6.4. În figurile 6.3 și 6.4 sunt prezentate tipuri comune de piloți de beton monolit și exemple de configurații de piloți.

Fundațiile adânci constituie unul din mijloacele cele mai eficiente de mediere a mișcărilor fundațiilor pe perioada cutremurelor. De exemplu, cutremurul din Niigata a condus la pagube dramatice ca urmare a lichefierii depozitelor de nisip din suprafața situată la o înălțime joasă în orașul Niigata, Japonia. În momentul cutremurului, în orașul Niigata existau aproximativ 1500 de clădiri din beton armat și aproximativ 310 astfel de clădiri au fost deteriorate, 200 din ele s-au tnat sau s-au înclinat rigid fără deteriorarea apreciabilă a suprastructurii. Clădirile de beton deteriorate erau construite pe fundații de adâncimi mici sau pe stâlpi de frecare în teren necompactat. Construcțiile similare de beton cu fundații pe piloți portanți pe straturi ferme la o adâncime de 20 m nu au suferit pagube.

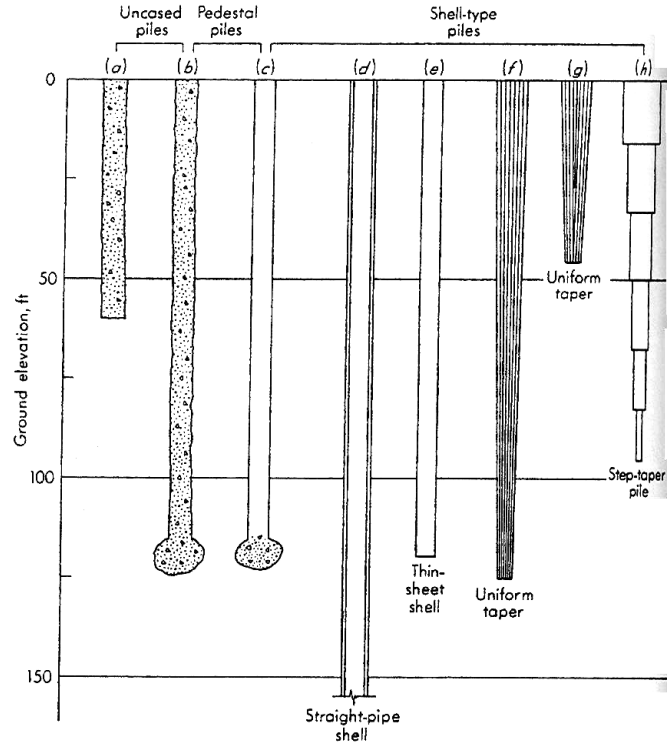


Fig. 6.3. Tipuri de piloți fabricați la fața locului.

În afara clădirilor, fundațiile adânci se pot folosi pentru aproape orice tip de structură. De exemplu, figura 6.5. arată piloți de beton armat care s-au folosit la susținerea unui rezervor de depozitare. Terenul de sub rezervorul de depozitare s-a lichefiat pe perioada cutremurului Kobe. Cu privire la această fundație de adâncime pe perioada cutremurului, s-a declarat (EERC 1995):

Rezervorul, declarat ca fiind susținut de 33 de piloți extinzându-se pe adâncime de aproximativ 33 metri a rămas nedeteriorat. Piloții constau din secțiuni de beton armat, cu diametre de aproximativ 35 centimetri. Doisprezece din cei 33 piloți erau aranjați pe un inel exterior aproape perimetral pe rezervor; restul erau situați mai aproape de centrul acestuia (vezi fig. 5). Lângă rezervor, terenul s-a lichefiat și s-a tasat cu 28 centimetri. Pagubele porțiunilor expuse ale piloților păreau a fi relativ scăzute. Mai mulți piloți aveau fisuri de mărimea firului de păr pe un metru sau doi de la partea superioară. Cel puțin un pilot conținea fisuri care se intersectau, care ar fi putut permite ca bucăți mari de beton să se rupă. Piloții cel mai deteriorați erau amplasați în lungul părții de nord-vest a perimetrului. Piloții păreau că pot fi reparați și prin urmare nu se pot considera că au eşuat.

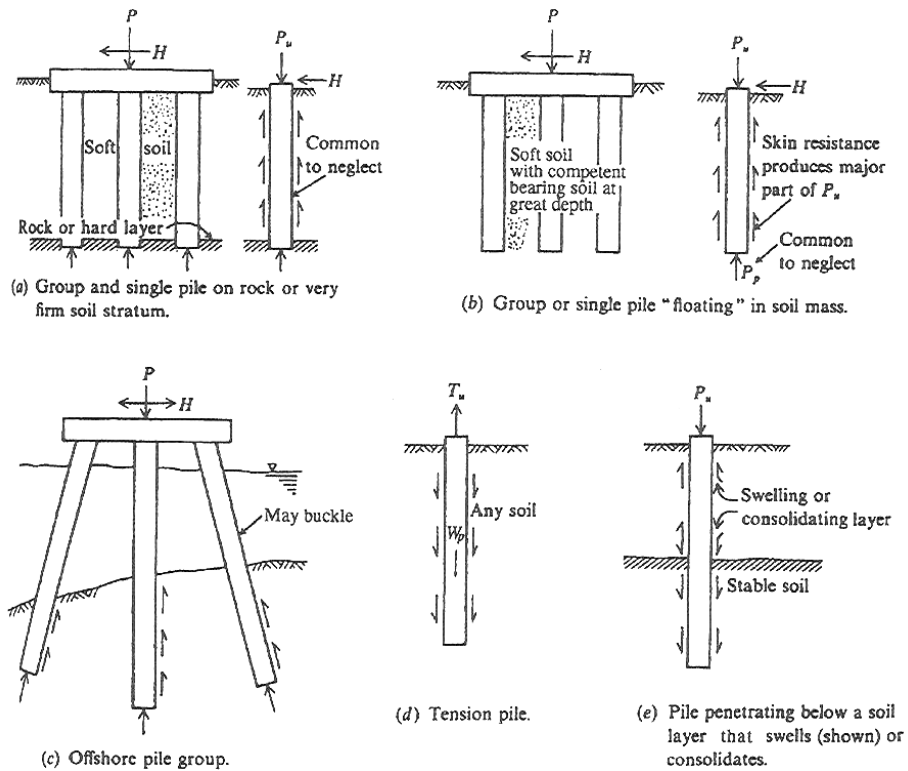


Fig. 6.4. Configurația piloților.

Pentru condițiile unui cutremur două dintre tipurile cele mai obișnuite de fundații adânci sunt sistemul de piloți și grinzi de solidarizare și piloți din beton pretensionat.



Fig. 6.5. Rezervorul avariât, datorită lichefierii pământului în timpul cutremurului din Kobe, 17 Ianuarie 1995.

## Tipuri obișnuite de fundații adânci

Tema	Discuții
Fundații pe piloți	<p>Probabil că cea mai obișnuită fundație adâncă este cea pe piloți. Piloții constau din lemn (cherestea), secțiuni H de oțel, beton prefabricat, beton fabricat la fața locului, beton injectat sub presiune, piloți din țevi de oțel umplute cu beton și piloți de tip compozit. Piloții fie că sunt transportați la fața locului, fie instalați în găurile pregătite. Piloții care sunt aduși la fața locului sunt în general considerați a fi cu dislocare redusă sau mărită de strat, în funcție de cantitatea de teren ce trebuie scoasă din cale pe măsură ce piloții sunt acționați. Exemple de piloți cu dislocare redusă sunt secțiunile H și piloții din țevi de oțel cu un capăt deschis, care nu formează la capăt un tampon cu terenul. Exemple de piloți cu dislocare mărită ar fi piloții cu secțiuni solide, cum ar fi piloții de cherestea rotunzi sau piloții de beton prefabricat, pătrați și piloții din țevi de oțel cu un capăt închis.</p> <p>Diferite tipuri de piloți:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Piloți înclinați: Un pilot introdus sub un unghi față de verticală, care asigură o rezistență mărită sarcinilor laterale.</li> <li>▪ Piloți portanți: Această capacitate de susținere a piloților este dedusă în principal din rezistența materialului de fundație pe care stă extremitatea pilotului. Piloții portanți sunt folosiți adesea atunci când stratul moale de la suprafață acoperă straturi mai dense sau dure. Dacă stratul superior mai moale se tasează, pilotul ar putea fi supus forțelor de tragere în jos și pilotul trebuie astfel proiectat pentru a rezista acestor forțe induse de teren.</li> <li>▪ Piloți de frecare: Capacitatea de susținere a piloților este în principiu dedusă din rezistența de frecare a solului și/sau de adeziunea mobilizată în lungul părții laterale ale pilotului. Piloții de frecare sunt folosiți adesea la argile moi unde rezistența portantă de capăt este mică datorită efortului de frecare prin forfecarea extremității pilotului. Un pilot care rezistă la sarcină de jos în sus (adică forțe de tensionare) este considerat, de asemenea, ca fiind un pilot de frecare.</li> <li>▪ Pilot portant combinat cu pilot de frecare: Acest pilot își deduce capacitatea de susținere din rezistența combinată a elementului portant de capăt dezvoltată la extremitatea pilotului și rezistența de frecare și/sau rezistența de adeziune pe perimetrul pilotului.</li> </ul> <p>Piloții sunt acționați în mod normal în aranjamentele specifice și sunt folosiți la susținerea capacelor piloților din oțel armat sau a fundațiilor radier. De exemplu, construcția în cazul încărcării cu coloane de oțel se poate susține printr-un cap de pilot de oțel care este la rândul său susținut de patru piloți amplasați în apropierea colțurilor capacului pilotului de oțel.</p>
Piloți din țevi de oțel umplute cu beton	O altă opțiune ar fi piloții din țevi de oțel umplute cu beton. În această situație, piloții din bare de oțel sunt acționate în locul lor. Pilotul se poate acționa, fie cu un capăt deschis, fie cu unul închis. Dacă acest capăt este deschis, se îndepărtează solul din pilotul din țevi (prin aruncare) înainte de turnarea consolidării de oțel și a betonului.
Piloți de beton precomprimat	sunt livrați pe șantier și apoi duși la fața locului.



Piloți	Un pilot este definit ca sistem de fundație adâncă, similar cu un pilot fabricat la fața locului, care constă din membre de beton armat, de tipul coloanelor. Piloții sunt adesea cu diametru destul de mare pentru a face posibilă inspectarea găurii de jos. Piloți sunt, de asemenea, în mod obișnuit numiți arbori foraj, stâlpi găuriți sau chesoane forate.
Chesoane	Un cheson se poate să fie o structură subterană, densă față de apă.
Fundație radier	Dacă o fundație radier este construită sub suprafața pământului sau dacă radierul este susținut de piloți, aceasta ar putea fi considerată ca fiind un sistem de fundații adânci.
Fundație flotantă	O fundație flotantă este un tip special de fundație adâncă, acolo unde greutatea structurii este echilibrată de îndepărtarea solului și de construcția unui fundament subteran.

### 6.3.1. Suportul piloți și grinzi de solidarizare

Pașii de bază la construirea unei fundații constând din piloți și grinzi de solidarizare sunt:

1. *Forarea piloților*: se face prin folosirea unui dispozitiv burghiu-melc. Acest tip de echipament poate excava rapid și economic piloți la adâncimea dorită.
2. Piloții sunt proiectați adesea ca membre portante finale. De exemplu, poate există o zonă de teren superioară liberă sau compresibilă cu piloți foraj prin acest material și în material corespunzător. Situația ideală este de a avea platoul de ape subterane situat sub fundul piloților. Aceasta va permite o inspectare vizuală a fundului de excavare pentru pilot. Adesea, un om experimentat în lucrul cu burghiul poate curăța marea parte a fundului pentru pilot prin mișcarea rotativă rapidă a burghiului. Se va putea apoi coborî în gaură o lumină pentru a urmări condițiile de încăstrare. Nu va trebui să coboare un muncitor în gaură pentru a curăța fundul acesteia; mai degrabă, orice material liber de la fundul stâlpului ar trebui împinsă la o parte și apoi răzuit într-o cupă de excavator coborâtă în gaura pilotului. Dacă nu este posibilă curățirea fundului, rezistența pilotului s-ar putea să se bazeze numai pe frecarea de suprafață în straturile portante conducând la o rezistență portantă finală considerată a fi zero.
3. *carcasă din oțel și beton*: odată fundul pilotului curățat, în gaura pilotului se coboară o carcasă de consolidare din oțel. Se pot folosi blocuri mici de beton pentru a poziționa carcasa de oțel. Se va avea grijă la introducerea carcasei de oțel pentru ca terenul să nu fie îndepărtat de pe marginile găurii. Odată ce s-a poziționat carcasa de oțel, gaura se va umple cu beton.
4. *construcția grinzii de solidarizare*: următorul pas este de a realiza grinzile de solidarizare care acoperă piloții. Similar cu piloții, se folosesc blocuri mici de beton pentru a poziționa consolidarea de oțel în cadrul grinzilor de solidarizare.  
Consolidarea de oțel de la grinzile de solidarizare este alipită de consolidarea de oțel a piloților. Odată poziționată consolidarea de oțel, pasul final este de a turna betonul. Consolidarea de oțel ieșind în afara grinzilor de solidarizare se vor alipi de consolidarea de oțel a dalelor din pardoseală.
5. *Dalele de pardoseală*: Înainte de turnarea dalelor de pardoseală, se va instala o barieră de umiditate „visqueen” și spargere, din pietriș capilar.

## 178 SOLUȚII DE FUNDARE PENTRU CONSTRUCȚII AMPLASATE ÎN ZONE SEISMICE-6

6. După aceea se toarnă consolidarea din oțel pentru dalele de pardoseală. Se vor folosi blocuri mici de beton la ridicarea consolidării de oțel de pe fundația naturală, iar oțelul va fi alipit de oțelul din grinzile de solidarizare. Pasul final este de a turna betonul pentru dalele de pardoseală.
7. *Stâlpi*: La proiectarea clădirii, stâlpi care susțin suprastructura se pot poziționa direct deasupra centrului piloților. Un stâlp de oțel cu o placă de bază alipită se va prinde în bolțuri de beton. După aceea, se va poziționa carcasa de oțel a stâlpului în jurul părții inferioare a stâlpului de oțel. Odată umplut cu beton, produsul final va avea starea unei coloane cu un capăt fix, având o rezistență ridicată la acțiunea seismică.

Un avantaj major al acestui tip de fundație este acela că nu există îmbinări deschise sau planuri slabe care se pot exploata de către tremurul în timpul cutremurelor. Rezistența fundației este datorată construcției sale monolit, cu dalele de pardoseală alipite și susținute de grinzile de solidarizare, care sunt la rândul lor ancorate de stâlpi. În plus, stâlpi din oțel, ale suprastructurii se pot fabrica astfel încât să aibă capacitatea portantă direct la vârful piloților și să aibă legături la un capăt fix. Această fundație monolit și legătura solidă dintre stâlpi de oțel și piloți vor face ca structura să reziste mai ușor la acțiunea seismică.

În mod obișnuit acest sistem de fundații este proiectat de un inginer de structuri. Inginerul geotehnist furnizează diferiți parametri de proiectare, cum ar fi adâncimea estimată a straturilor portante, rezistența portantă finală permisă, frecarea superficială admisă în materialul portant, rezistența pasivă admisă a materialului portant și orice sarcină de tragere în jos care este anticipată și care s-ar putea induce în piloți dacă terenul necompactat superior sau cel compresibil s-ar tasa sub propria sa greutate sau pe perioada cutremurelor anticipate. Inginerul geotehnist trebuie, de asemenea, să inspecteze fundația pe perioada construcției pentru a confirma starea de încăstrare a piloților.

### **6.4. Fundație antiseismică pentru stâlpi**

Soluția este concepută să disipeze o parte din energia seismică la nivelul fundațiilor, urmărind reducerea forțelor de inerție induse în structura de rezistență de către cutremurele de pământ. În acest sens, fundațiile prevăzute cu suprafață de contact minimă, elemente cilindrice cu rol de mărire a capacității portante și disipare a energiei vibrațiilor și un strat de bază din materiale granulare (nisip și balast) cu funcție de amortizare (figura 6.7 și 6.8.).

Soluția poate fi folosită la construcțiile civile, social – culturale, industriale și mai ales speciale (turnuri de televiziune, coșuri de fum etc.), amplasate pe terenuri normale sau consolidate din zonele seismice.

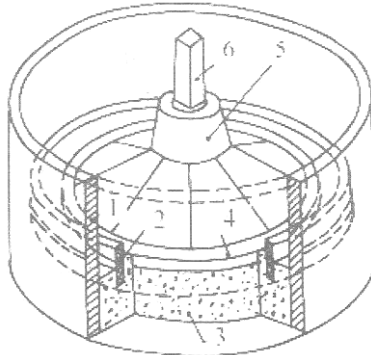


Fig. 6.7. Fundație antiseismică pentru stâlpi: 1 - inele exterioare, 2- inele interioare, 3 - balast, 4 - placă conică, 5 - pahar prefabricat, 6 - stâlp

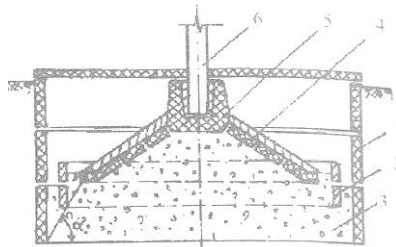


Fig. 6.8. Secțiune verticală a fundației antiseismice: 1 - inele exterioare, 2- inele interioare, 3 - balast, 4 - placă conică, 5 - pahar prefabricat, 6 - stâlp

Concepția fundației permite o execuție simplă, și anume în săpătura realizată după procedee obișnuite (manual sau mecanizat), se montează inele prefabricate cilindrice și elementele prefabricate ale plăcii conice subțiri.

Inele prefabricate din jurul fundației au rol de mărire a capacității portante a terenului și totodată prezența lor în teren dă naștere la fenomene fizice de reflexie, refracție și parțial produc unde alunecătoare, care favorizează disiparea undelor seismice. În același timp, forma cilindrică a fundației (inele, placă conică) obligă unda purtătoare de energie să atace progresiv suprafața laterală a fundației, indiferent de direcția de acțiune a sursei (seism, șocuri etc.). Segmentarea inelelor exterioare s-a realizat cu scopul de a permite deplasări diferite pe înălțimea fundației la cutremure puternice și de a ușura execuția în cazul fundațiilor de mari dimensiuni.

Stratul de amortizare, format din materiale granulare (nisip sau balast) se realizează corelat cu montarea elementelor prefabricate ale fundației (inele exterioare și inele plăcii conice). După montarea inelelor prefabricate ale plăcii subțiri ce alcătuiesc talpa fundației se realizează continuitatea prin sudarea de plăcuțe sau mustăți din oțel beton și suprabetonare.

Ca elemente de contact direct între construcție și teren se pot folosi diverse tipuri de plăci subțiri sau alte forme de fundații de tip rigid sau elastic.

Dimensionarea elementelor fundației se face în mod obișnuit la solicitările rezultate din diverse ipoteze de încărcare. Unghiul făcut de colțul fundației propriuzise și inelul exterior (figura 6.8.) este cuprins între 20° și 30°, în funcție de materialul granular folosit (nisip sau balast).

## 180 SOLUȚII DE FUNDARE PENTRU CONSTRUCȚII AMPLASATE ÎN ZONE SEISMICE-6

Prin folosirea acestor tipuri de fundații se reduc forțele de inerție induse în suprastructură cu circa 15 – 25%. Aceasta permite reducerea consumului de materiale deficitare pentru realizarea structurii de rezistență și creșterea siguranței construcțiilor în exploatare.

### **6.5. Clasificări ale infrastructurilor și a sistemelor de fundare sub aspectul comportării la acțiuni seismice**

- a. după modul în care sunt distribuite presiunile pe tălpile fundațiilor se identifică următoarele cazuri:
  - fundații în contact permanent cu terenul (în orice stadiu de solicitare posibilă se dezvoltă presiuni pe toată suprafața de rezemare) care prezintă numai deformații elastice;
  - fundații care în stadiile de solicitare maximă se desprind parțial de teren; presiunile pe teren pot depăși sau nu limita comportării elastice;
  - fundații care pot dezvolta eforturi de întindere la contactul cu terenul prin intermediul piloților și/sau pereților mulați.
- b. după nivelul solicitării în elementele infrastructurilor:
  - infrastructuri cu comportare elastică;
  - infrastructuri cu incursiuni în domeniul post - elastic de deformare.

Proiectarea antiseismică a ansamblului suprastructură – infrastructură – teren, în situațiile construcțiilor obișnuite în care intervin solicitări în domeniul post – elastic, va urmări dirijarea deformațiilor post - elastice cu prioritate în elementele suprastructurii.

Se vor lua măsuri prin dimensionarea suprafețelor de rezemare pe teren pentru încadrarea în limite admisibile a deformațiilor remanente.

De asemenea se va urmări prin proiectare, limitarea, eventual eliminarea deformării post - elastice a elementelor infrastructurii, a căror degradări sunt dificil de depistat și în anumite situații dificil de reparat.

#### **6.5.1. Tipuri de infrastructuri**

Tipuri caracteristice de soluții de infrastructură ale clădirilor cu structură din pereți structurali cu mecanisme diferite de rezistență.

##### **a. Fundații izolate pentru pereți individuali sau grupuri de pereți (figura 6.9.)**

În situațiile unor clădiri în care sunt prevăzuți pereți individuali sau nuclee de pereți cu o comportare specifică de consolă verticală se poate adopta un sistem de fundare similar celui utilizat pentru fundarea stâlpilor în cadre. Fundațiile se vor prevedea cu dimensiunile necesare pentru transmiterea la teren a solicitărilor de la baza suprastructurii. Fundația va putea îngloba, când aceștia există, pereții de subsol.

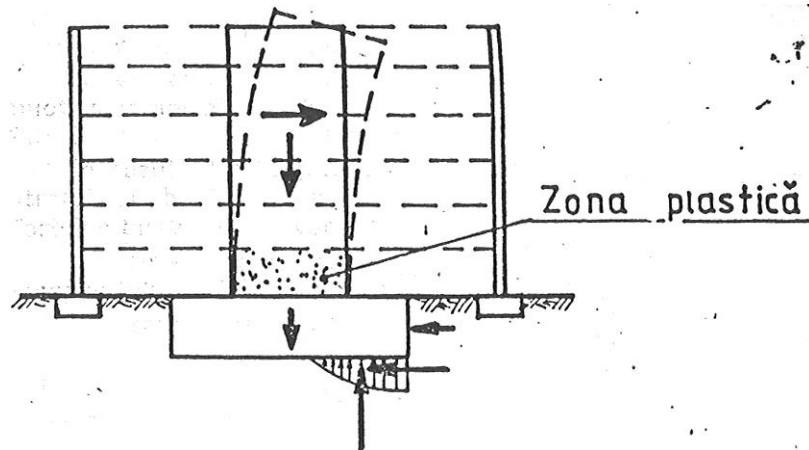


Fig. 6.9. Fundații izolate pentru pereți individuali sau grupuri de pereți

#### **b. Infrastructuri cu elemente de fundare la adâncime**

În situațiile în care suprafața de fundare sau capacitatea de rezistență a terenului sunt limitate se poate recurge la fundarea la adâncime prin piloți de beton armat.

În vederea sporirii capacității de preluare a momentelor de răsturnare pe suprafața de rezemare în teren și pentru a asigura condițiile necesare pentru dezvoltarea unor mecanisme structurale de plastificare în zona de la baza pereților, se poate adopta soluția din figura 6.10.a, cu piloți evazați la bază, capabili să se încarce la întindere.

Se vor evita soluțiile în care eforturile de întindere din piloți se transmit numai prin intermediul frecărilor pe suprafața lor laterală (figura 6.10.b).

În cazul în care piloții traversează structuri moi până la stratul de bază se vor lua măsuri speciale pentru preluarea forțelor tăietoare. Se vor putea alege soluții ca:

- prevederea piloților înclinați, capabili să preia prin compresiune axială, forțele orizontale aferente (figura 6.11.);
- prevederea de pereți mulați;
- dimensionarea corespunzătoare a piloților la forțele tăietoare aferente; la limită, când sistemul piloților este proiectat și ca disipator de energie, eforturile secționale sunt cele asociate plastificării piloților la extremități (figura 6.12.).

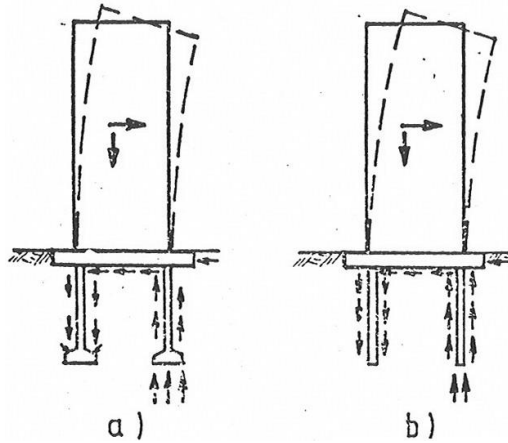


Fig. 6.10.

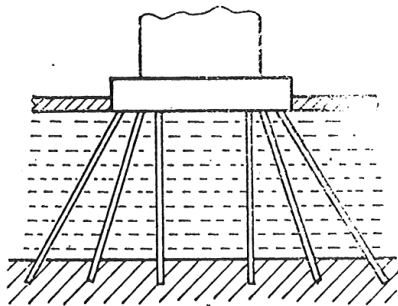


Fig. 6.11.

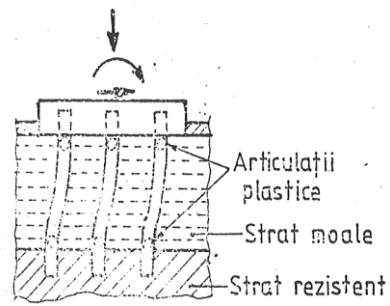


Fig. 6.12.

### c. Fundații comune pentru mai mulți pereți structurali

În figura 6.13.a se prezintă cazul unor pereți structurali legați printr-o fundație comună, iar în figura 6.13.b cazul unor pereți cuplați cu o bază unică.

Porțiunile de perete situate sub cota teoretică de încastrare sunt solicate la eforturi de natura celor ce apar în nodurile structurilor în cadre și vor fi dimensionate în consecință.

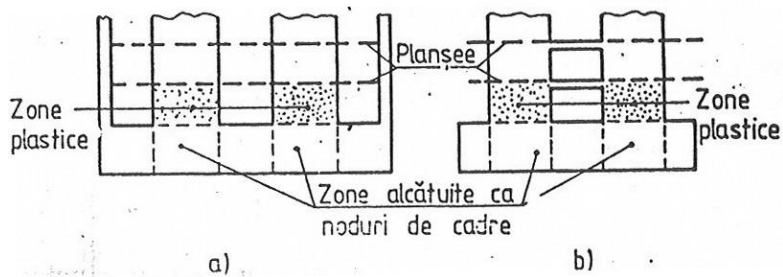


Fig. 6.13. a și b

După scopul propus, se vor lua măsuri pentru evitarea apariției deformațiilor plastice în rigla de legătură a bazelor pereților sau dimpotrivă aceste elemente vor fi proiectate ca disipatori de energie, cu măsurile de ductilizare asociate.

**d. Infrastructuri care realizează un efect de încastrare („efect de menghină”) al pereților prin intermediul planșeului peste subsol.**

Acest tip de infrastructură este recomandabil în situațiile în care funcțiunea subsolului nu permite dispunerea unor pereți interiori, dar sunt prevăzuți pereți perimetrali.

**e. Infrastructură alcătuită sub formă de rețele de grindă**

În condițiile în care clădirea are subsol cu pereți exteriori și interiori, infrastructura se poate realiza ca o rețea de grinzi de fundare constituite de pereții subsolului și evazările la partea inferioară sub forma de tălpi (figura 6.14.). După caz, rețeaua de grinzi se poate dezvolta și sub cota pardoselii subsolului.

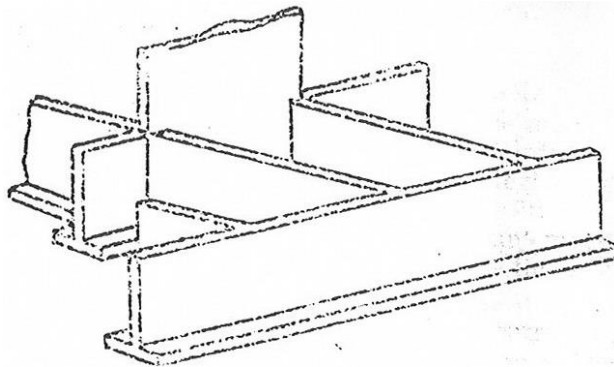


Fig. 6.14.

**f. Infrastructură alcătuită ca o cutie închisă**

În cazul unor structuri cu solicitări importante (clădiri înalte cu pereți structurali rari) infrastructura se poate realiza ca o cutie practic infinit rigidă și înzestrată cu capacitate foarte mare de rezistență, prin închiderea rețelei de grinzi de fundare la partea superioară prin planșeul de peste subsol, iar la partea inferioară printr-un radier sau o placă armată.

**g. Fundații pentru pereți care se pot roti liber la bază (figura 6.15.)**

Această soluție este indicată în situațiile în care nu sunt necesare armături verticale la baza pereților pentru preluarea momentelor de răsturnare.

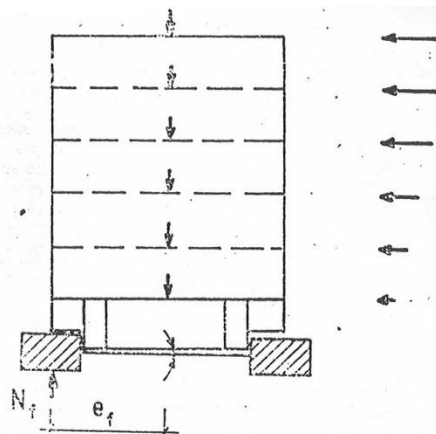


Fig. 6.15.

### 6.5.2. Indicații privind modul de calcul al elementelor infrastructurii

Un model de calcul riguros, la acțiunea seismică implică considerarea ansamblului spațial suprastructură - infrastructură - teren de fundare, cu proprietăți definite prin legi constitutive fidele comportării reale a elementelor care alcătuiesc fiecare din cele trei componente. După caz, acțiunile sunt modelate fie prin intermediul forțelor orizontale de calcul, fie prin intermediul accelerogramelor.

Întrucât în prezent nu există condiții pentru abordarea calculului în întreaga sa complexitate se admite să se determine eforturile secționale în elementele infrastructurii prin studiul echilibrului infrastructurii izolate, solicitate la forța de legătură cu suprastructura și la presiunile reciproce din tălpile fundațiilor și terenul de fundare.

Se recomandă utilizarea unor programe de calcul care să permită luarea în considerare a cât mai multor componente ale mecanismului de rezistență al infrastructurii și a efectelor de comportare structurală spațială, cum sunt capacitatea de rezistență la torsiune a ansamblului infrastructurii în cazul reșezării acesteia ca o cutie închisă, redistribuită forțelor orizontale între pereții subsolului sub cota teoretică de încastrare a suprastructurii.

În cazurile curente se admite adoptarea unor scheme simplificate de calcul acoperitor constând din rețele plane și grinzi încărcate normal pe planul rețelei.

În situațiile obișnuite când se urmărește ca mecanismul de plastificare al ansamblului să aibă zonele plastice localizate în suprastructură, forțele de legătură dintre supra- și infrastructură vor fi asociate mecanismului de plastificare al suprastructurii, cu articulații plastice la baza pereților structurali și în riglele de cuplare. Proprietățile terenului se vor exprima prin legi de deformare elastică sau prin legi constitutive mai riguroase. Se va ține seama de posibilitatea ridicării parțiale a fundației pe teren.

Se vor determina, pe baza unor scheme se calcul în concordanță cu rolul conferit prin proiectare planșeului peste subsol, eforturile secționale din acest element structural, de regulă, substanțial mai mari decât în cazul planșeelor curente ale construcției.



## **7.CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII ADUSE DE AUTOR**

Tendința la nivel mondial este aceea de creștere a nivelului de siguranță al construcțiilor noi, speciale ca regim de înălțime, conformație arhitecturală, dimensiuni urbane, importanța pentru proprietar sau pentru societate, această creștere efectuându-se în principal prin luarea în considerare a unui nivel superior al actualului nivel de hazard al acțiunii seismice de proiectare.

Mișcarea seismică constituie una din principalele cauze ale degradării structurilor în caz de cutremur, și de aceea este importantă înțelegerea cât mai corectă a fenomenelor care o generează, a parametrilor care o caracterizează și a efectelor mișcării seismice asupra construcțiilor. Studiul mișcării seismice este un domeniu dinamic, datele achiziționate în urma cutremurelor din ultimul deceniu contribuind la o cunoaștere mai profundă și mai detaliată a acestora.

Importanța pământurilor din jurul fundațiilor clădirilor sau a construcțiilor subterane este mult mai mare în cazul acțiunilor seismice, deoarece prin acestea se transmit încărcările dinamice cu ponderea cea mai mare, care dimensionează de obicei construcția.

Contribuțiile personale ale autorului sunt:

1. Sinteza analitică a cutremurelor de pământ, cu evidențierea următoarelor aspecte:

- explicarea originilor și cauzelor cutremurelor de pământ, a teoriei plăcilor tectonice, aceasta susține că prin comprimarea puternică, care se manifestă la contactul dintre plăcile continentale, se produc deplasări mari fie datorită cedărilor în urma strivirii rocilor, fie datorită fenomenului de subducție (alunecarea relativă a unei plăci sub cealaltă); mecanismele de producere a cutremurelor, efectele devastatoare a cutremurelor, situația cutremurelor la nivel mondial și în România, cu evidențierea celor două zone diferite din punct de vedere al tipului de acțiune seismică, caracteristica a acestor cutremure este diversitatea surselor tectonice, cuprinzând practic toate formele posibile: superficiale ( $H \leq 5$  km), crustale ( $5 < H \leq 30$  km) și intermediare ( $70 \leq H \leq 170$ );

2. Sinteza comportării terenului de fundare la cutremure și a efectelor asupra structurilor. S-au putut trage următoarele concluzii:

- modificarea caracteristicilor fizico - mecanice în urma acțiunilor seismice pot conduce la schimbarea esențială a condițiilor de rezistență și de stabilitate ale maselor de pământ, fapt care de cele mai multe ori are efecte negative asupra construcțiilor;

- condițiile geologice locale, caracteristice unui anumit amplasament, au o influență decisivă asupra modificării efectelor seismice, caracterizate prin următorii factorii principali: factori de sursă, intensitatea mișcării seismice, magnitudinea evenimentului seismic, propagarea undelor seismice, conținutul de frecvențe, durata semnificativă a evenimentului seismic, factori locali de amplasament, interacțiunea teren - structură, focalizarea efectelor seismice care se manifestă la suprafața liberă a terenului;

- cauza fenomenului de interacțiune dintre terenul de fundare și structură este constituită de flexibilitatea terenului sub acțiunea unei excitații dinamice; pentru structuri amplasate pe terenuri deformabile, mișcarea seismică la nivelul fundației

este în general diferită de cea în câmp liber, conținând o importantă componentă de rotație, pe lângă componenta de translație;

- modificarea răspunsului seismic al unei structuri situate pe un teren deformabil, în comparație cu răspunsul unei structuri situate pe un teren rigid, se datorează pe de o parte modificării perioadelor (frecvențelor) proprii de vibrație ale structurii.

- interacțiunea teren de fundare – structură, reprezentată prin zona activă, modifică atât proprietățile dinamice ale structurii, cât și caracteristicile mișcării seismice la nivelul fundației, față de parametri dinamici calculați conform normelor actuale în vigoare.

3. Analizarea hazardului seismic al amplasamentului Timișoarei, seismicitatea și istoria seismelor din regiunea Banat, prelucrarea datelor, cu programe de înregistrare a undelor seismice, în urma măsurărilor geofizice efectuate, în cele două foraje geotehnice, fiecare având 35 m adâncime, amplasate la INCERC filiala Timișoara și la Institutul de Agronomie din Timișoara. S-au reliefat următoarele concluzii:

- zona este caracterizată de o intensă activitate seismică, cu un număr semnificativ de cutremure; adâncimea focarelor sunt cuprinse între 5 și 20 km, cele mai mici (sub 10 km) predominând în zona centrală, iar cele mai mari observându-se în nord și sud; datorită adâncimii mici ale focarelor, cutremurele produse în zona Banat sunt cutremure locale, care afectează arii restrânse, influența reciprocă a zonelor active seismic fiind în general ne semnificative; concentrarea activității seismice după anul 1900 în zona centrală și reducerea acesteia în sud și nord; apariția unor focare importante noi în zone considerate cu nivel scăzut de risc seismic;

- cutremurele bănățene se încadrează în categoria celor mai frecvente cutremure din aria mediteraneană; de altfel ele se încadrează în categoria celor de tip intra-placă, mișcări care se produc în interiorul aceleiași plăci tectonice; aceste mișcări se datorează fie ruperii din încovoiere sau tăiere a plăcii, fie lunecărilor produse de faliile existente;

- o altă caracteristică a acestor cutremure o constituie intervalele de recurență mari, datorită faptului că un număr mare de focare sunt activate într-o anumită perioadă, pentru ca apoi să devină inactive perioade lungi de timp. Se constată o permanentă migrare a focarelor;

- cea mai importantă caracteristică din punct de vedere al inginerului proiectant este faptul că seismele bănățene sunt de tip impuls de viteză și deplasare.

- în anexă sunt prezentate rezultatele prelucrărilor a opt înregistrări obținute la Banloc (BNL) și Timișoara (TIM1 și TIM2); de asemenea sunt prezentate istorii în timp și spectre de răspuns în format Kinematics și spectre de răspuns (pentru cele 2 componente orizontale ale înregistrării și pentru 12 direcții orizontale azimutal echidistante) și spectre de intensități pentru șase intervale de mediere (0,0625 sec - 0,250 sec), (0,250 sec - 0,50 sec), (0,50 sec - 1,0 sec), (1,0 sec - 2,0 sec), (2,0 sec - 4,0 sec);

- pe baza forajelor de adâncime pentru prospecțiuni hidrogeologice și a forajelor geotehnice, pe amplasamentul Timișoarei au fost evidențiate condiții de teren diferite;

- analizând perioadele undelor seismice (P și S) se constată că acestea au un domeniu larg de manifestare de la 0,114 s la 1,0 s, în cazul discontinuității scoarței terestre fenomenul se modifică substanțial iar prezența construcțiilor complică fenomenul de interacțiune;

- studiul condițiilor tectonice și seismotectonice locale evidențiază faptul că în amplasamentul Timișoarei sau în imediata apropiere nu există o falie activă, care să periclitize rezistența și stabilitatea construcțiilor existente sau viitoare, în mod excepțional;

- sunt redate forme de undă prelucrate și spectre caracteristice pentru Banat, împreună cu considerații privind reprezentarea acțiunii seismice în proiectarea de construcții pentru zona Banat;

- se prezintă, sub formă grafică și sub formă tabelară, rezultatele unor noi prelucrări ale înregistrărilor obținute la cutremurele bănățene din anii 1991 - 1996 la nivelul terenului (asimilabile condiției de *free field*);

- analiza înregistrărilor obținute în rețeaua seismică INCERC a permis determinarea principalilor parametri de interes ingineresc ai mișcării terenului. S-au prezentat spectre de răspuns determinate pe baza accelerogramelor obținute în timpul cutremurelor bănățene din anii 1991 - 1996 și spectre de intensități instrumentale calculate pornind de la aceste spectre.

4. Sinteză a comportării construcțiilor la cutremure, unde s-au remarcat următoarele aspecte:

- clădirile pot suferi numeroase tipuri de avarii, care pot fi clasificate în avarii structurale și avarii nestructurale. Ambele feluri pot fi periculoase pentru ocupanții clădirii. Avariile structurale se localizează la sistemul portant de la care preia încărcările verticale și orizontale. Avariile nestructurale nu afectează integritatea structuri de rezistență, în schimb sunt afectate elementele de compartimentare, elemente decorative, ornamente interioare și exterioare, instalații etc.;

- avariile care apar la clădiri depind de tipul de structură, vârsta și starea de uzură a clădirii, apropierea de clădirile învecinate, tipul terenului pe care se află și tipul mișcării seismice. Fiecare construcție constituie o realizare bine individualizată de caracteristicile ei vibratorii, de tipul constructiv, de materialul de execuție, de geometria în plan orizontal și vertical;

- simplitate și regularitate structurală adică uniformitate și simetrie, cu alte cuvinte evitarea disimetriei în rigiditatea laterală în plan, evitarea salturilor de rigiditate pe verticala clădirii, diminuarea efectului de torsiune seismică;

- scurgerea încărcărilor să se facă la fundații pe cel mai scurt traseu (să se evite descărcările indirecte). În cazul unei structuri simple și ordonate, încărcările gravitaționale și cele seismice accidentale să se transmită de la element la element și să ajungă la terenul de fundații direct și neconturbat;

- energia seismică indusă să se disipeze uniform în întreaga structură. În cazul contrar, se produc concentrații de tensiuni în zone nepregătite pentru așa ceva, rezultând avarii grave chiar și colapsul.

5. Analizarea unor soluții de fundații pentru construcții amplasate în zone seismice:

- exemple de fundații directe: grindă de fundare cu secțiune constantă; grindă de fundare cu secțiune variabilă; fundații izolate cu grindă de echilibrare; fundații octogonale; fundații încărcate excentric cu rezultanta coincidentă cu suprafața astfel încât presiunea pe teren să fie uniformă;

- fundațiile adânci constituie unul din mijloacele cele mai eficiente de diminuare a efectelor mișcărilor fundațiilor pe perioada cutremurelor; fundațiile adânci se pot folosi pentru aproape orice tip de structură;

- fundația antisismică pentru stâlpi; soluția este concepută să disipeze o parte din energia seismică la nivelul fundațiilor, urmărind reducerea forțelor de inerție induse în structura de rezistență de către cutremurele de pământ.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Allen, Edward, Fundamentals of building construction: materials and methods – 2nd ed., John Wiley&Sons, 1990.
- [2] Alexandrescu, I., Contribuții la studiul acțiunii solicitărilor dinamice asupra fundațiilor și a terenului de fundare, teză de doctorat, U.P. Timișoara, 2007.
- [3] APOSTOL, B.F., Cercetări privind efectele de neliniaritate în evaluarea și reducerea riscului seismic, St. cerc. GEOFIZICĂ, București, 2006.
- [4] Ardeleanu, L., Leydecker, G., Bonjer, K.P., Busche, H., Kaiser, D., Schmitt, T., Probabilistic seismic hazard map for Romania as a basis for a new building code, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2005.
- [5] Arsenie, G., Voiculescu, M., Ionașcu, M., Soluții de consolidare a construcțiilor avariate de cutremure, Editura TEHNICĂ, 1997.
- [6] Bolt, B.A., EARTHQUAKES, Fifth Edition, Freeman, San Francisco, 2003.
- [7] Bolt, B.A., Engineering Seismology, CRC Press, 2004.
- [8] Borrero, F., Scelsi Hess, F., Hsu, J., Kunze, G., Leslie, S., Letro, S., Manga, M., Sharp, L., Snow, T., Zike, D., Earth science, The McGraw-Hill Companies Inc., 2008
- [9] Brad, I., I., Contribuții la studiul interacțiunii suprastructură – fundație – teren la clădirile de locuință, Teză de doctorat, U.P. Timișoara. 1998.
- [10] Braja, D.M., Principles of Foundation engineering, second edition, PWS Publishing Company Boston, 1990.
- [11] Day, R.W., Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, The McGraw-Hill Companies Inc., 2002.
- [12] Diaconu, D., Diaconu, A., Unele opinii cu privire la normele de proiectare antiseismică din România, Aniversare INCERC - filiala Timișoara 50 de ani de activitate. Editura Marineasa, 2005.
- [13] Diaconescu M., Ioane D., Malița Z., Biter M., Rădulescu F., Tectonics and seismicity in Banat, Romania, 5<sup>th</sup> International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, 14-20 April 2004.
- [14] Dimoiu, I., Clădiri din zidărie rezistente la cutremur, 2003.
- [15] Dimoiu, I., Earthquake engineering, Ed. Orizonturi Universitare 2004.
- [16] Dimoiu, I., Bazele ingineriei seismice, Ed. Orizonturi Universitare 1999.
- [17] Dimoiu, I., Inginerie seismică, Ed. Academiei Române, 1999.
- [18] Dubină, D., Lungu, D., Construcții amplasate în zone cu mișcări seismice puternice, Ed. Orizonturi Universitare 2003.
- [19] Dubină, D., Mazzolani, F., Savidis, Calculul structurilor în zone seismice – EUROCODE 8 Exemple de calcul, Procontrol Electronics Ltd, 1997.
- [20] Erdey, C., Earthquake Engineering – Application to Design, John Wiley & Sons, 2007.
- [21] Gioncu, V., Progrese și provocări în ingineria seismică, Aniversare INCERC - filiala Timișoara 50 de ani de activitate. Editura Marineasa, 2005.
- [22] Gruia, A., Haida, V., Geotehnică și fundații, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara, 1990.
- [23] Haida, V., Gruia, A., Îndrumător de proiectare, Fundații directe, 1996.
- [24] Haida, V., Pantea, P., Geologie, Geotehnica și Fundații vol. III, 1984.

## 189 BIBLIOGRAFIE

---

- [25] Haida, V., Marin, M., Mirea, M., Mecanica pamnaturilor, Ed. Orizonturi universitare, 2004.
- [26] Ifrim, M., Dinamica structurilor și inginerie seismică, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1984.
- [27] Ilieși, N.M., Soluția de consolidare a unei construcții istorice din municipiul Cluj-Napoca, A XI-a conferință națională de geotehnică și fundații, Timișoara, 2008.
- [28] Jung, K., Kleine Erdbebenkunde, Ed. Springer – Berlin, 1953.
- [29] Leydecker, G., Busche, H., Bonjer, K.P., Schmitt, T., Kaiser, D., Simeonova S., Solakov, D., Ardeleanu, L., Probabilistic seismic hazard in terms of intensities for Bulgaria and Romania – updated hazard maps, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 2008.
- [30] Lungu, I., Stanciu, A., Boți, N., Probleme speciale de fundații, Editura Junimea, Iași, 2002.
- [31] Lute, M., Contribuții la calculul și alcătuirea structurilor mixte din oțel-beton, teză de doctorat, U.P. Timișoara. 2008.
- [32] Manoliu, I., Fundații și procedee de fundare, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [33] Mateescu, G., Contribuții la studiul comportării elementelor structurale la acțiuni seismice. Teză de doctorat, U.P. Timișoara, 2002
- [34] Mateescu, G., Moldovan, A., Cercetări asupra comportării la seism a structurilor metalice, Aniversare INCERC - filiala Timișoara 50 de ani de activitate. Editura Marineasa, 2005.
- [35] Marchidianu, E., Hazardul la alunecări de teren în zona barajului și lacului de acumulare Siriu, A XI-a conferință națională de geotehnică și fundații, Timișoara, 2008.
- [36] Marchidianu, E., Hărțile de hazard la alunecări de teren. Destinație, nivel de exigență, principii de elaborare, A XI-a conferință națională de geotehnică și fundații, Timișoara, 2008.
- [37] Marin, M., Regiunea seismică Banat – Timișoara și aspecte privind calculul construcțiilor, Buletinul AGIR, octombrie - decembrie 2000.
- [38] Marin, M., Roman, O., Rasool, H.H., Studiu geodinamic pentru evaluarea impactului clădirilor înalte asupra zonelor învecinate, în caz de seism, A XI-a conferință națională de geotehnică și fundații, Timișoara, 2008.
- [39] Marin, M., Roman, O., Ighian, V., A XI-a conferință națională de geotehnică și fundații, Timișoara, 2008.
- [40] Marin, M., Roman, O., Roman, L., Geodynamic Study for the evaluation on the impact of tall Buildings above nearby areas, in case of earthquakes, WSEAS International Conference Timișoara, 2009.
- [41] Marin, M., Roman, O., Aspecte privind hazardul seismic în zona Timișoarei, Aniversare INCERC - filiala Timișoara 50 de ani de activitate. Editura Marineasa, 2005.
- [42] Marin, M., Bob, L., Gruin, A., Aniversare INCERC – filiala Timișoara 50 ani de activitate, Ed. Marineasa, 2005
- [43] MOLDOVAN, I.A., POPESCU, E., CONSTANTIN, A., Probabilistic seismic hazard assessment in Romania: application for crustal seismic active zones, Rom. Journal Phys., Vol. 53, Bucharest, 2008.
- [44] Nawrotzki, P., Earthquake protection for buildings and other structures, International Forum - Earthquake Prognostics URBANIA Berlin, March, 2006.

## 190 BIBLIOGRAFIE

---

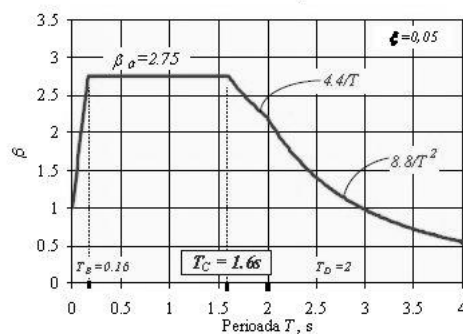
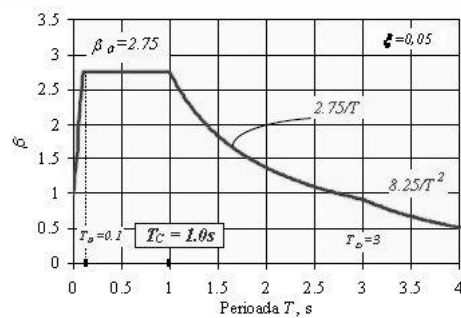
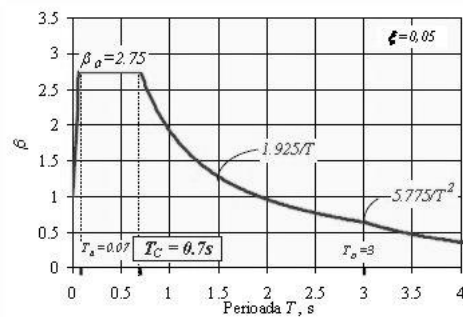
- [45] Negoită, Al., Pop, I., Ionescu, C., Olariu, I., Vulpe, A., Breabăn, V., Hobjilă, V., Schärf, F., Negoită, I., Inginerie seismică, Ed. didactică și pedagogică București, 1985.
- [46] Oros, E., Review of the historical seismicity in the western and southwestern territory of Romania (Banat seismic Region), Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, Ed. Akadémiai Kiadó, 2008.
- [47] Oros, E., Site effects investigation in the city of Timișoara using spectral ratio methods, Romanian Reports in Physics, 2008.
- [48] Oros, E., Popa, M., Moldovan, I., A., Seismological database for Banat seismic Region (România) – Part 1: The parametric earthquake catalogue, Romanian Journal of Physics, Vol.53, București, 2008.
- [49] Oros, E., Popa, M., Popescu, E., Moldovan, I., A., Seismological database for Banat seismic Region (România) – Part 2: The catalogue of the focal mechanism solutions, Romanian Journal of Physics, Vol.53, București, 2008.
- [50] Oros, E., Macroseismic and instrumental seismicity of the Banat Region and its significance on the local seismic hazard and risk, „Thirty Years from the Romania Earthquake of March 4, 1977”, Bucharest, 2007.
- [51] Oros, E., The april - august 2002 Moldova Nouă earthquakes sequence and its seismotectonic significance, International Symposium “25 Years of Research in Earth Physics and one Century of Seismology in Romania”, 27–29 September, Bucharest, 2002.
- [52] Oros, E., Surse de hazard seismic pentru zona de vest a României, Analele Univ. Eftimie Murgu Reșița, Fascicula Inginerie, VII, 2000.
- [53] Oros, E., Nitoiu, L., Specificul cutremurelor de pamant din Banat, Buletinul Agir, nr. octombrie – decembrie 2000.
- [54] Păunescu, M., Ștefănică, M., Marin, M., Soluții și tehnologii moderne de industrializare a fundațiilor pentru stâlpi cu solicitări complexe, Ed. Marineasa 2005
- [55] Păunescu, M., Pop, V., Sillion, T., Geotehnică și fundații. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [56] Păunescu, M., Fundații în condiții speciale, Institutul Politehnic Timișoara, 1980.
- [57] Păunescu, M., Îmbunătățirea terenurilor slabe în vederea fundării directe, Editura TEHNICĂ, București, 1980.
- [58] PĂUNESCU, M., MARIN, M. Soluții moderne pentru fundații directe. Editura Facla, 1986.
- [59] Peck, A., Pender, M.J., Earthquake resistant design of foundations: new construction, GeoEng conference, Vol. 1, 2000.
- [60] Pop, V., Popa, A., Roman, F., Geotehnică. Exemple de calcul, I.P. Cluj-Napoca, 1994.
- [61] Popa, A., Farcaș, V., Geotehnică, Editura U.T. Press, Cluj-Napoca, 2004.
- [62] RADULIAN, M., et al, seismic hazard of Romania: deterministic approach, Birkhaeuser Verlag, Basel, 2000.
- [63] Rhan, Perry, H., Engineering geology : an environmental approach – 2nd ed, Prentice Hall PTR 1996.
- [64] Răileanu, P., Mușat, V., Geotehnică și Fundații, Editura Venus, Iași, 2001.
- [65] Răileanu, P., Mușat, V., Tibichi, E., Alunecări de teren – studiu și combatere, Editura Venus, Iași, 2001.
- [66] Răileanu, P., Mușat, V., Boțu, N., Fundații, vol. 1, Institutul Politehnic Iași, 1992.

## 191 BIBLIOGRAFIE

---

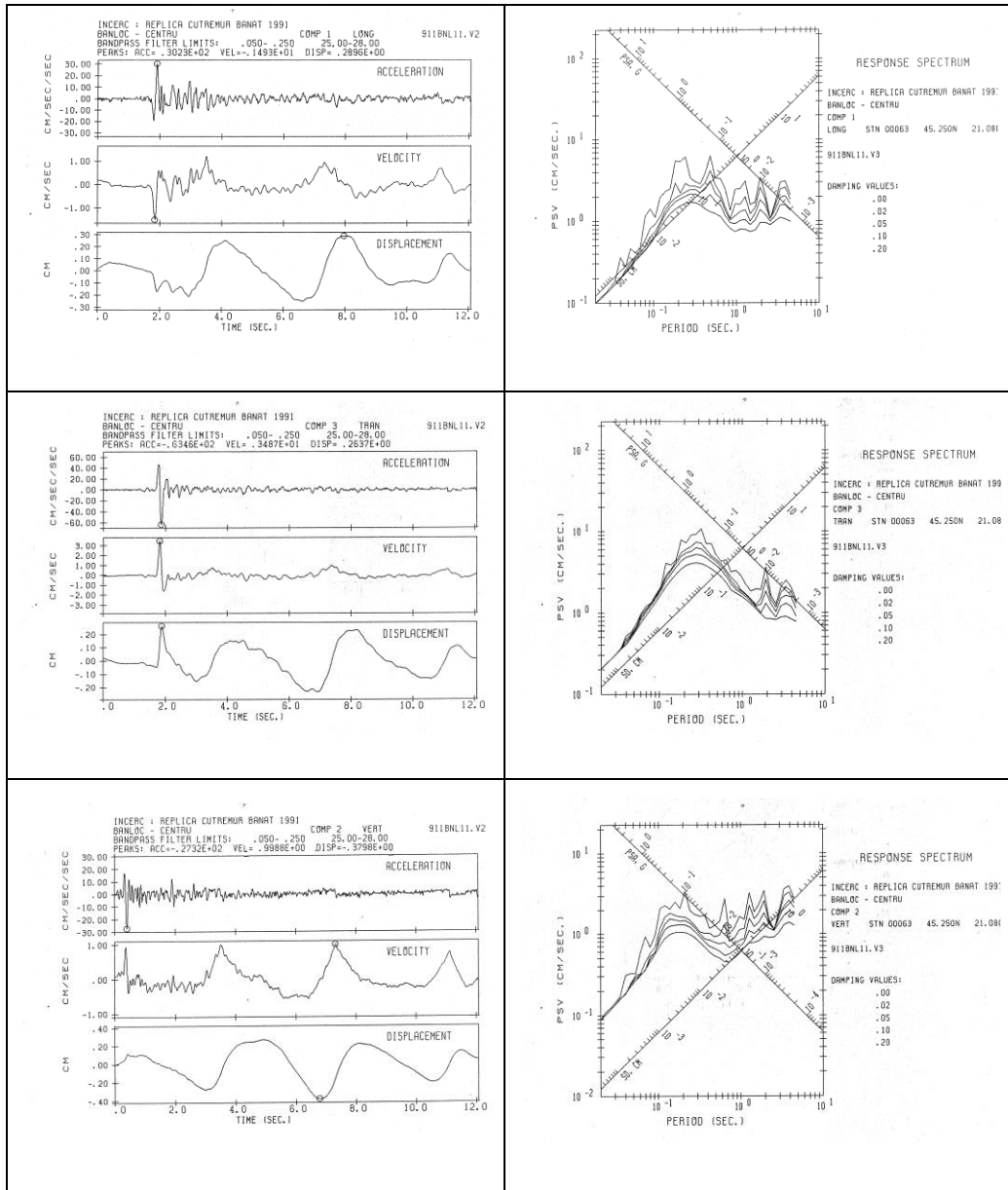
- [67] Răileanu, P., Boți, N., Stanciu, A., Geologie, geotehnică și fundații, Institutul Politehnic Iași, 1986.
- [68] SCHEIN, T., SCORDALIU, I., NICORAȘ, V., Elemente de calcul și de proiectare a îmbunătățirii terenului de fundare prin compactare dinamică cu material de adaos. A XI-a Conf. Națională de Geotehnică și Fundații, Cluj Napoca 2000.
- [69] Scoradliu, I., Murărașu, O., Laszlo, E., Metodologie experimentală de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenurilor de fundare, Aniversare INCERC - filiala Timișoara 50 de ani de activitate. Editura Marineasa, 2005.
- [70] Seed, H.B., Idriss, I.M., Ground motions and soil liquefaction during earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute, University of California, Berkeley, 1982.
- [71] Stanciu, A., Lungu, I., Fundații, Editura TEHNICĂ, București, 2006.
- [72] Stratan, A., Dinamica structurilor și inginerie seismică, Ed. Orizonturi universitare, 2007.
- [73] Sokolov, V., Friedemann, W., Rakesh, M., Grecu, B., Rădulian, M., Probabilistic seismic hazard assessment for Romania considering intermediate-depth (Vrancea) and shallow (crustal) seismicity, International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation, Bucharest, Oct. 4-6, 2007.
- [74] Terzaghi, K., Peck, R., Mesri, G., Soil mechanics in engineering practice – third edition, John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [75] Tomazevic, M., Earthquake – resistant design of masonry Buildings, Imperial College Press, 1999
- [76] Van Rose, S., Volcano & Earthquake, Dorling Kindersley Publishing, 2008.
- [77] Walker, A., Earthquakes: U.K. and Worldwide, British Geological Survey, 2006.
- [78] \* \* \* – P100-1/2006 „Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri”
- [79] \* \* \* – prEN 1997-1:2001 „Eurocode 7: Geotechnical design”
- [80] \* \* \* – prEN 1998-1:2004 „Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance”
- [81] \* \* \* – NP 112-2004 „Normativ pentru proiectarea structurilor de fundare directă”
- [82] \* \* \* – GE 029-97 Ghid practic privind tehnologia de execuție a piloților pentru fundații
- [83] \* \* \* – USGS - <http://earthquake.usgs.gov/>
- [84] \* \* \* – European-Mediterranean Seismological Centre, <http://www.emsc-csem.org>
- [85] \* \* \* – Natural Hazards and Earth System Sciences, <http://www.natural-hazards-and-earth-system-sciences.net/>
- [86] \* \* \* – Pacific Earthquake Engineering Research Center, <http://peer.berkeley.edu/index.html>
- [87] \* \* \* – National Earthquake Hazards Reduction Program, <http://www.nehrp.gov/>
- [88] \* \* \* – Euroseimos, [http://storing.ingv.it/es\\_web/](http://storing.ingv.it/es_web/)
- [89] \* \* \* – Riscul seismic in Romania, <http://inforisx.incerc2004.ro/>
- [90] \* \* \* – Kinematics – Seismic networks, <http://www.kinematics.com/>
- [91] \* \* \* – Centrul național pentru reducerea riscului seismic, <http://cnrrs.utcb.ro/>

## ANEXA I

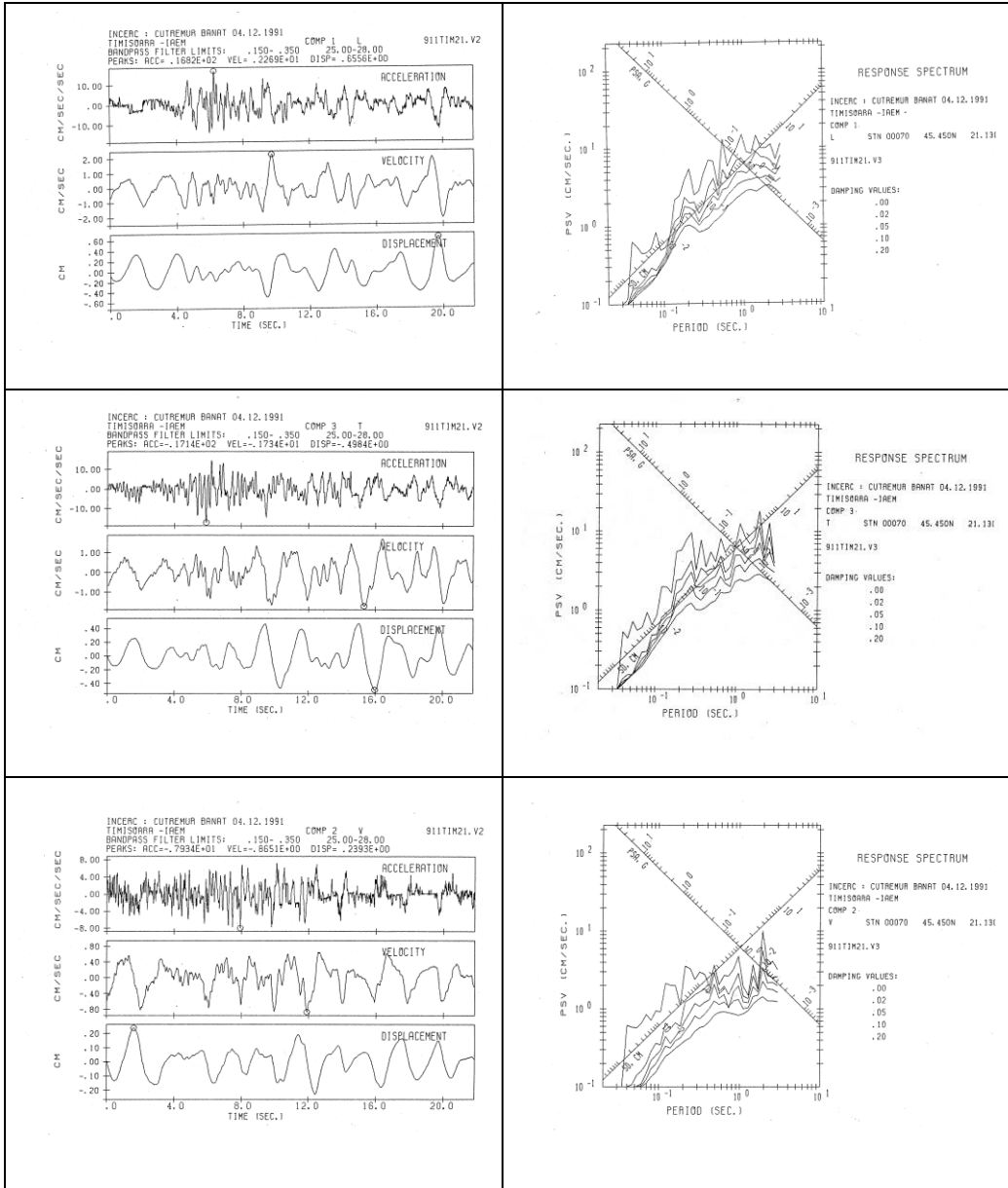


1. Spectre normalizate de răspuns elastic pentru accelerații pentru componentele orizontale ale mișcării terenului, în zonele caracterizate prin perioadele de control (colț):  $T_C = 0,7$ ,  $T_C = 1,0$  și  $T_C = 1,6\text{ s}$ . (P100-1/2006)

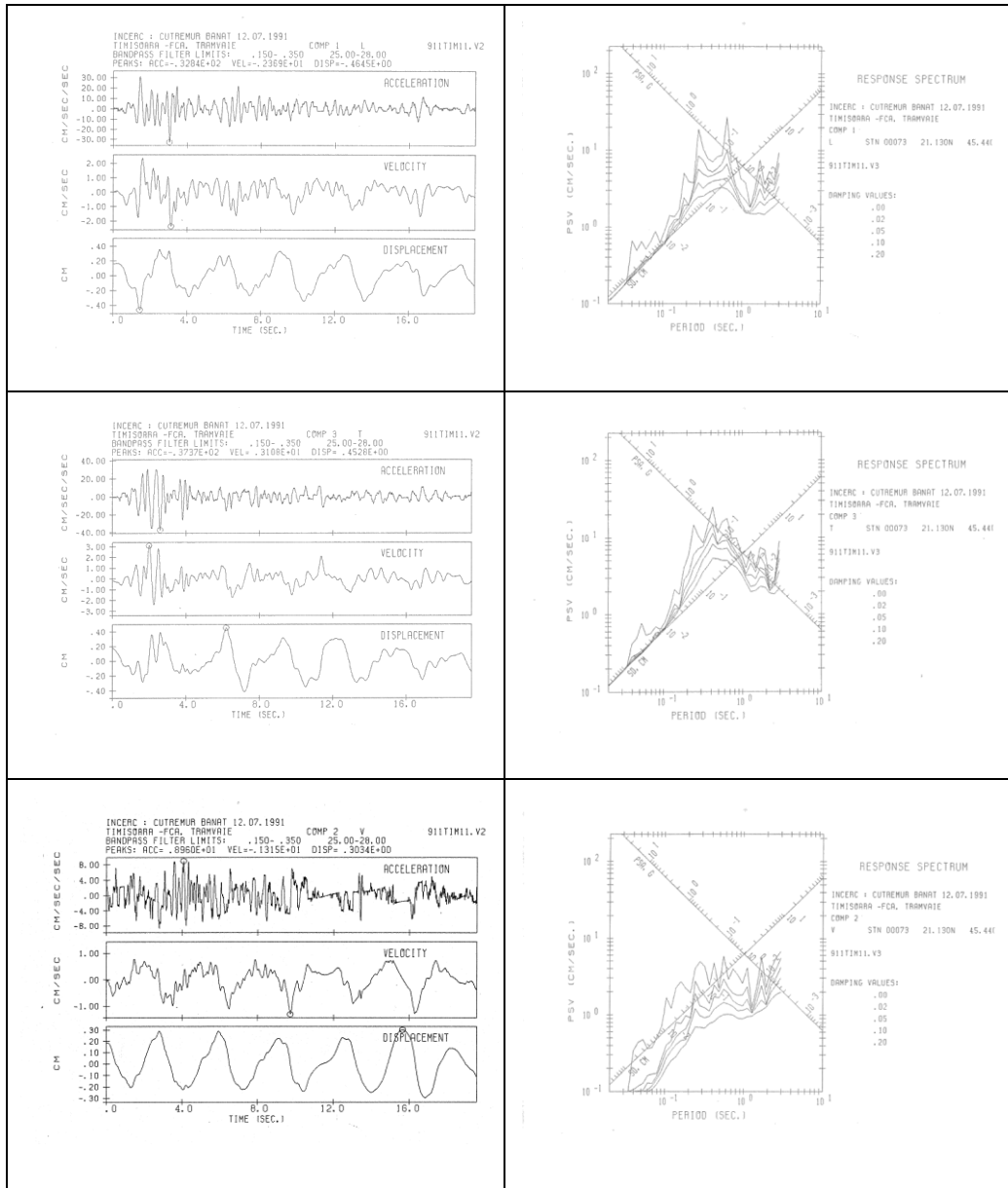




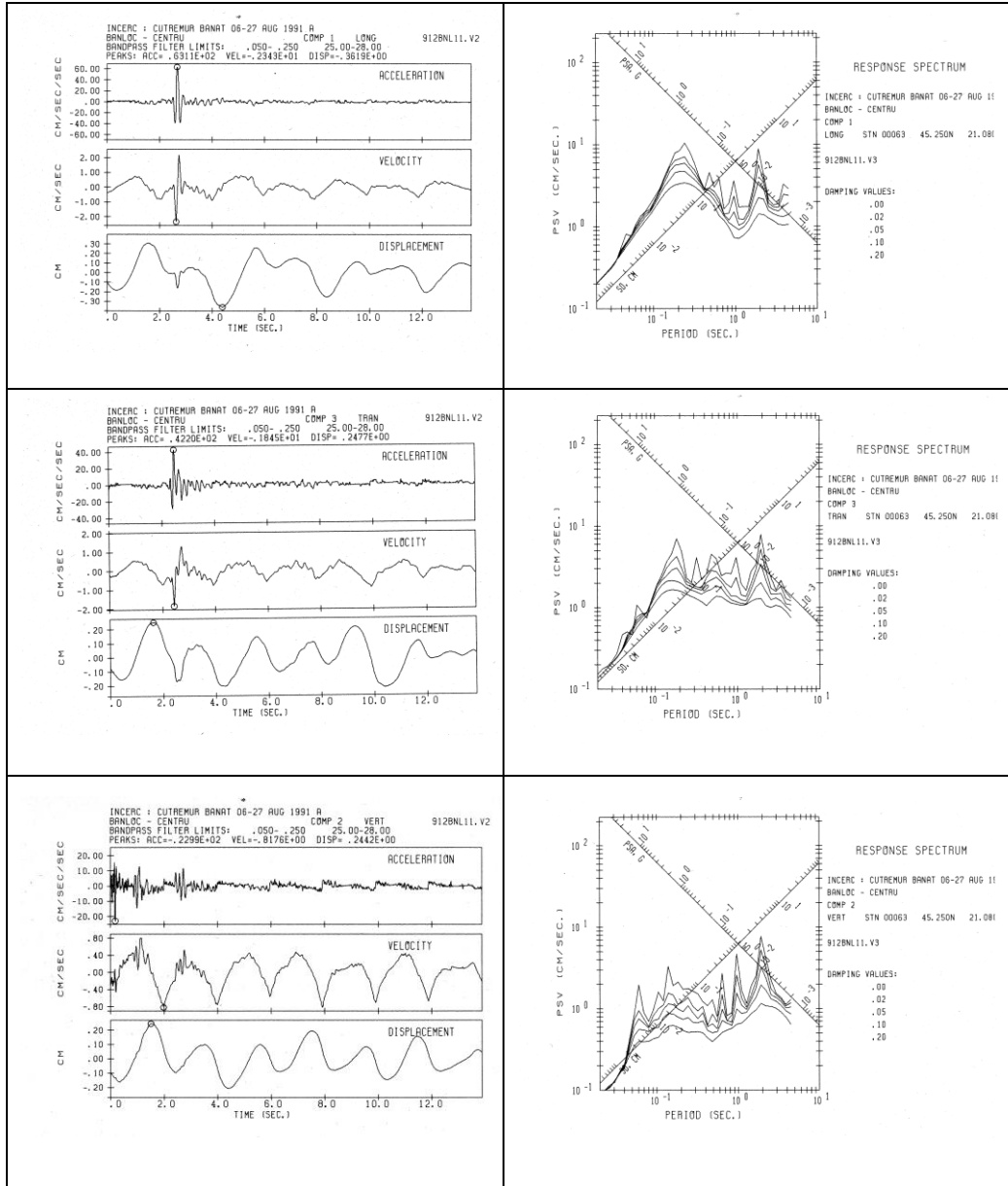
2. 911BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 911BNL1 – BANLOC - Banat



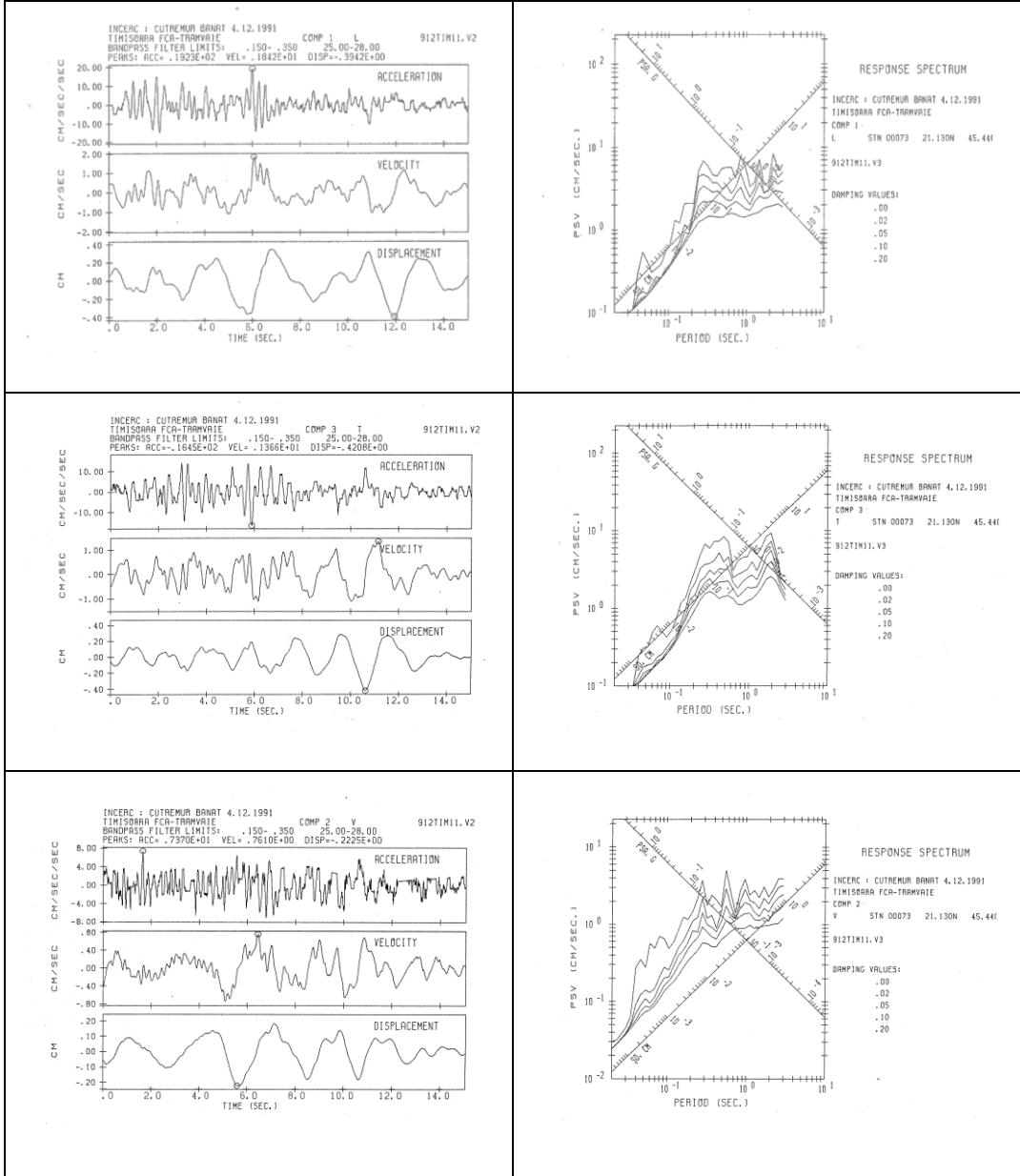
3. 911TIM2.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 911TIM2 – Timișoara Calea Buziașului - Banat



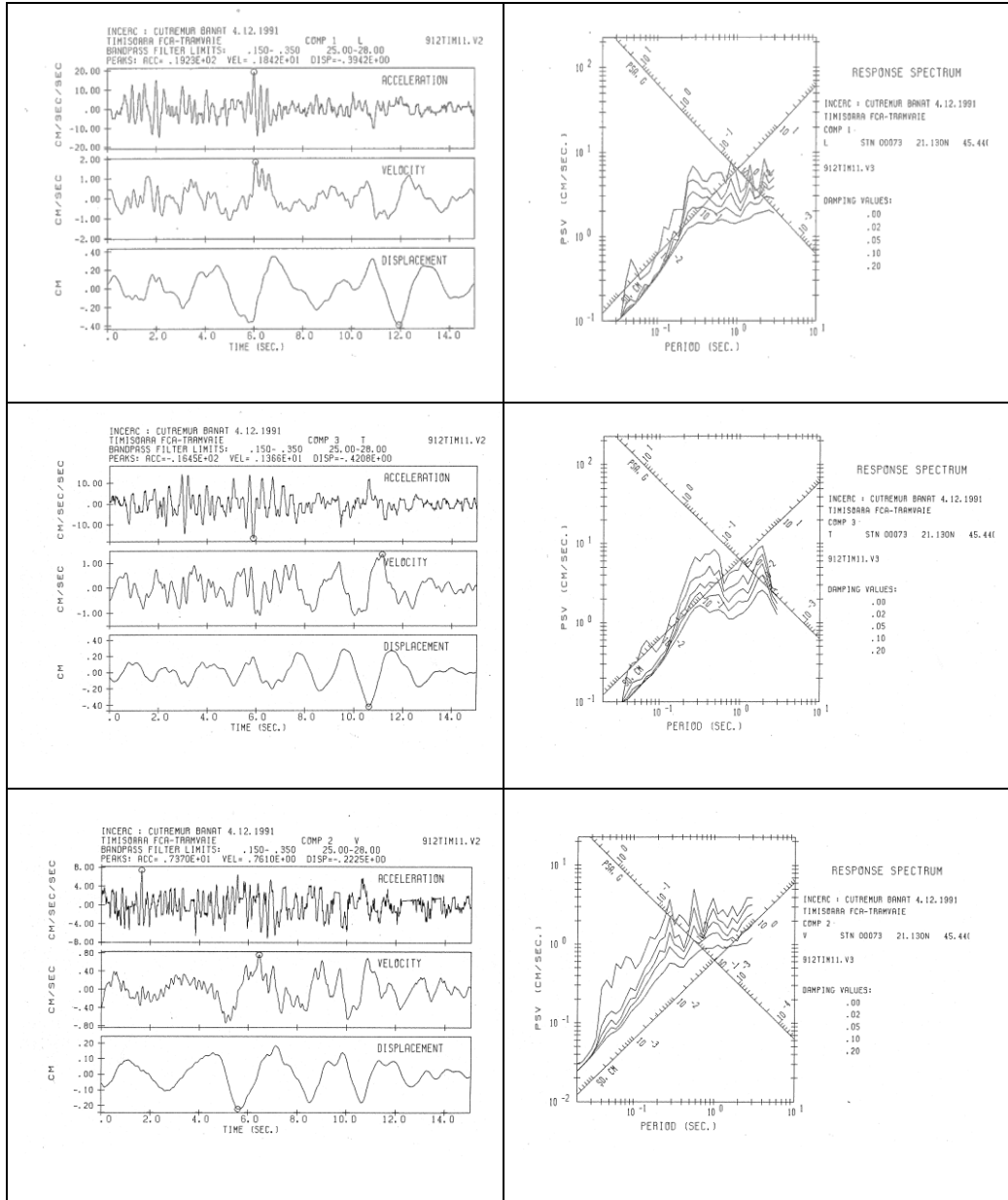
4. 911TIM1.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 911TIM1 – Timișoara B-dul Dâmbovița - Banat



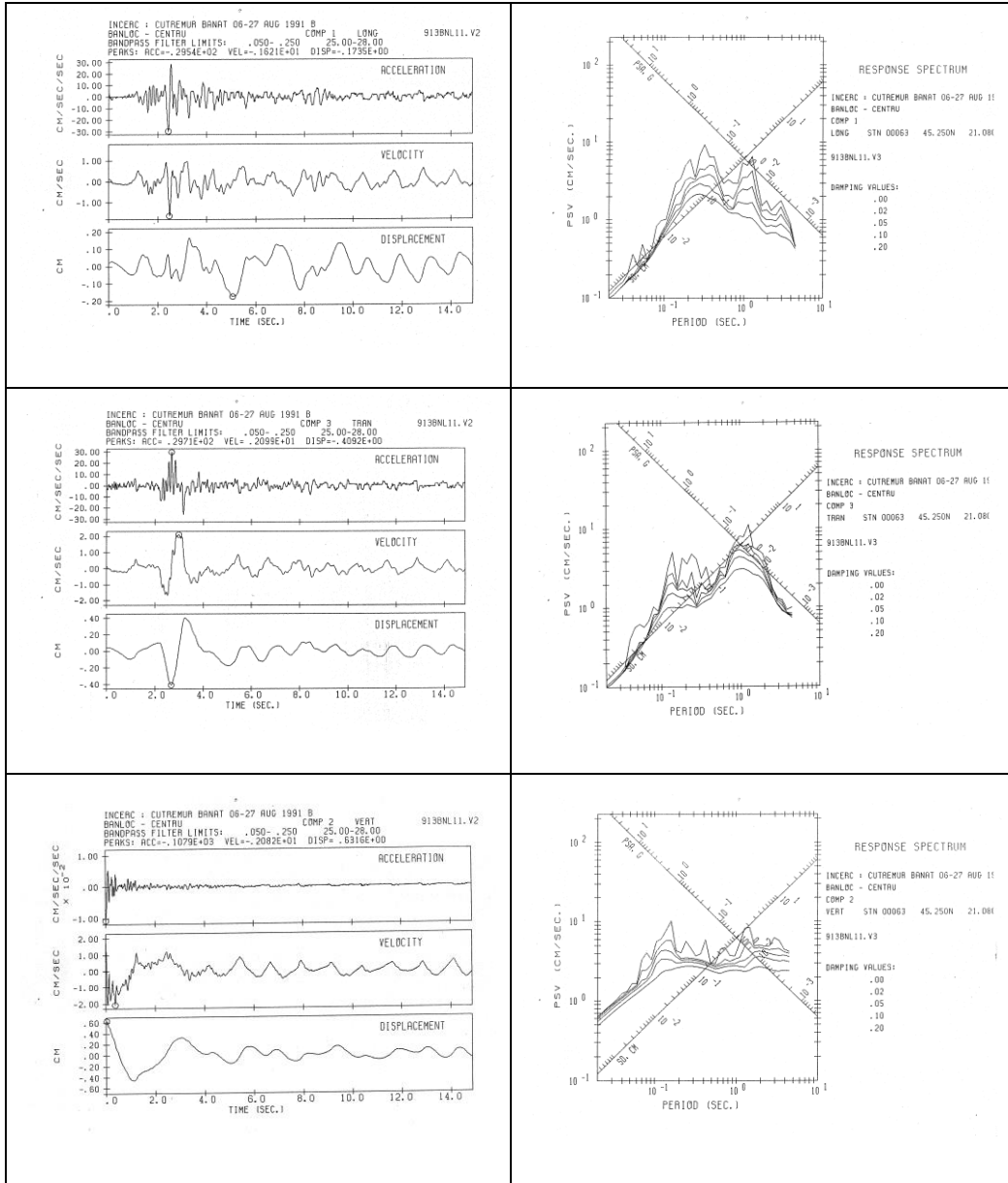
5. 912BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 912BNL1 – BANLOC - Banat



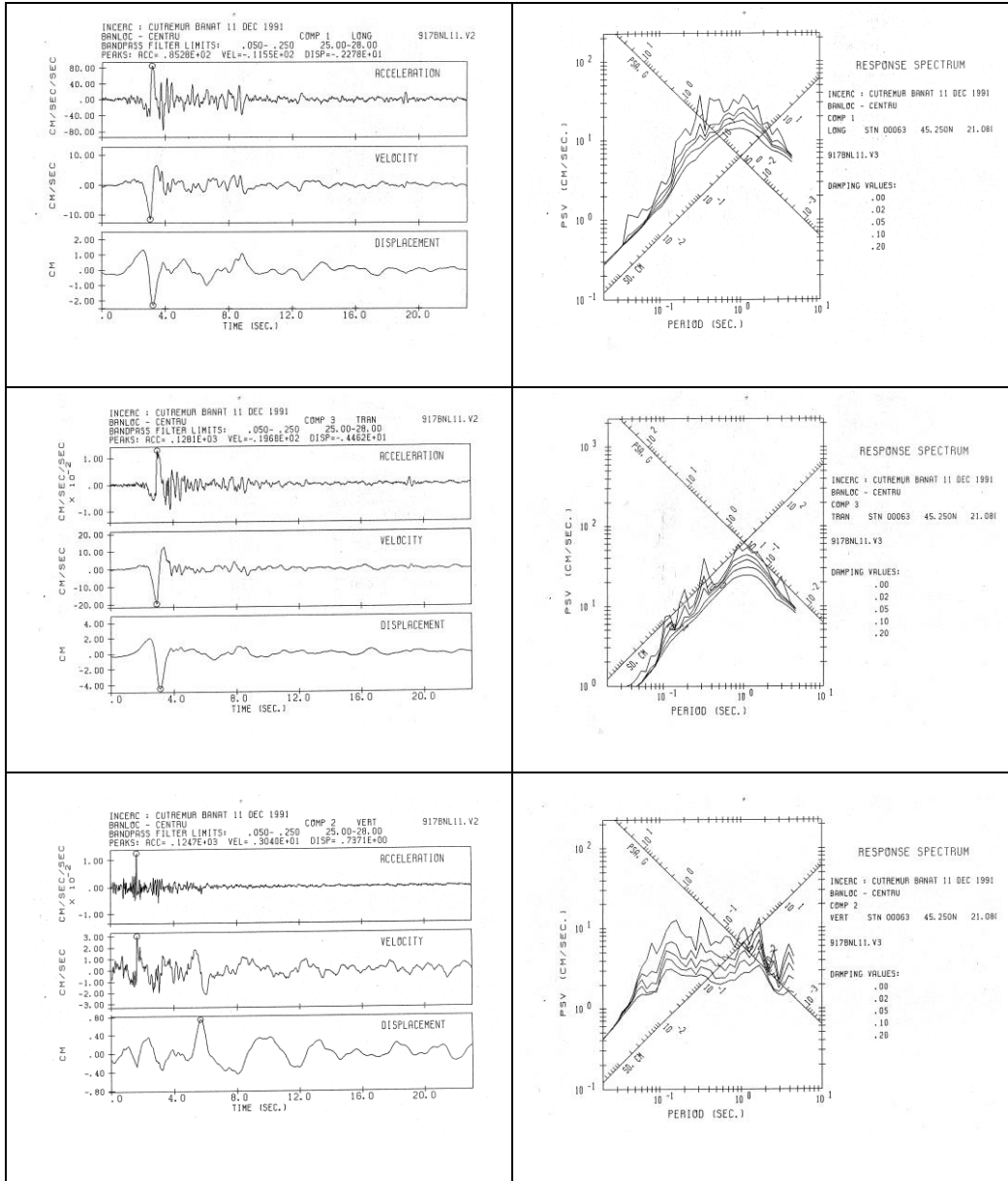
6. 912TIM1.1 – Istorii în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 912TIM1 – Timișoara B-dul Dâmbovița - Banat



6. 912TIM1.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 912TIM1 – Timișoara B-dul Dâmbovița - Banat

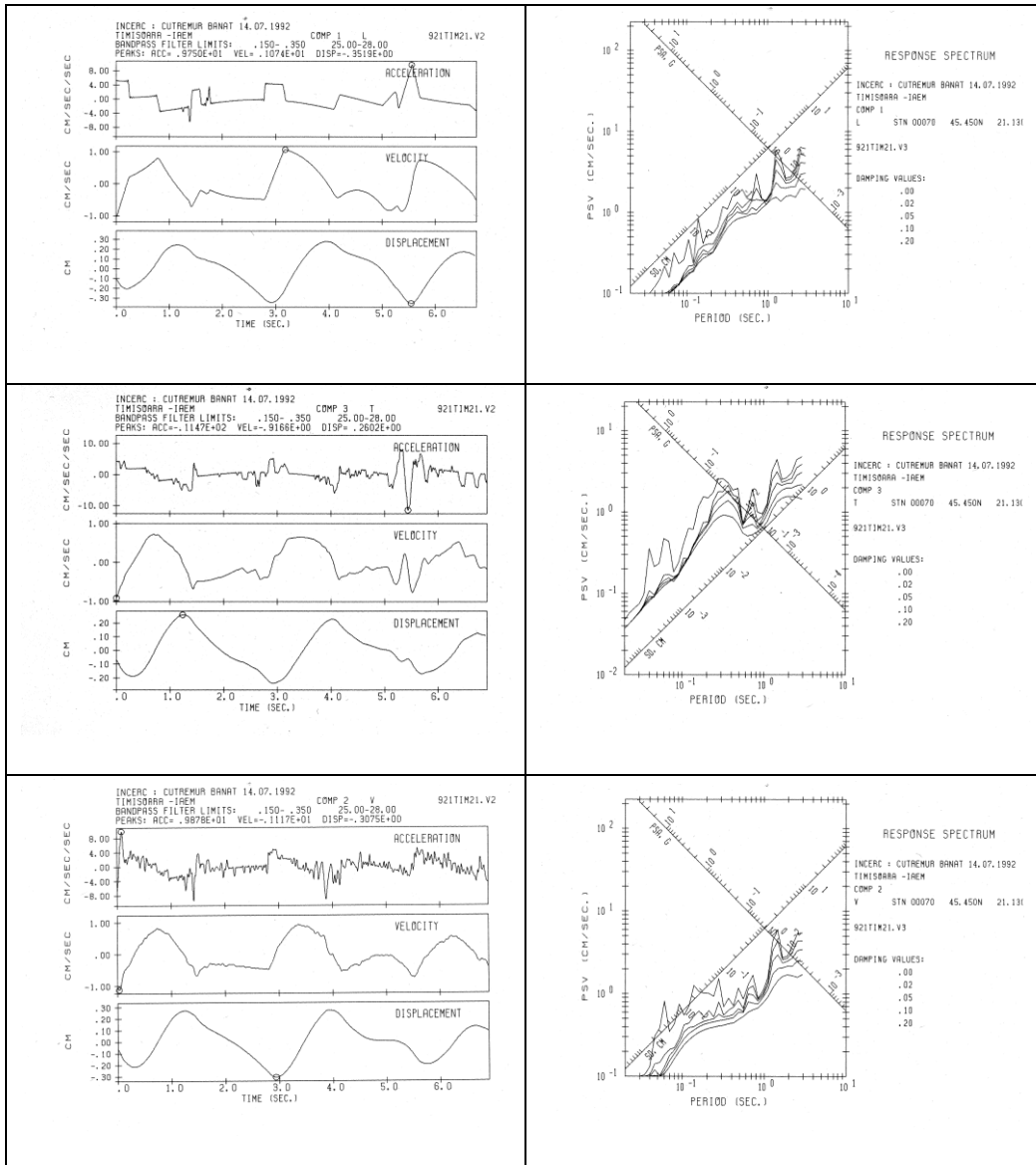


7. 913BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 913BNL1 – BANLOC - Banat

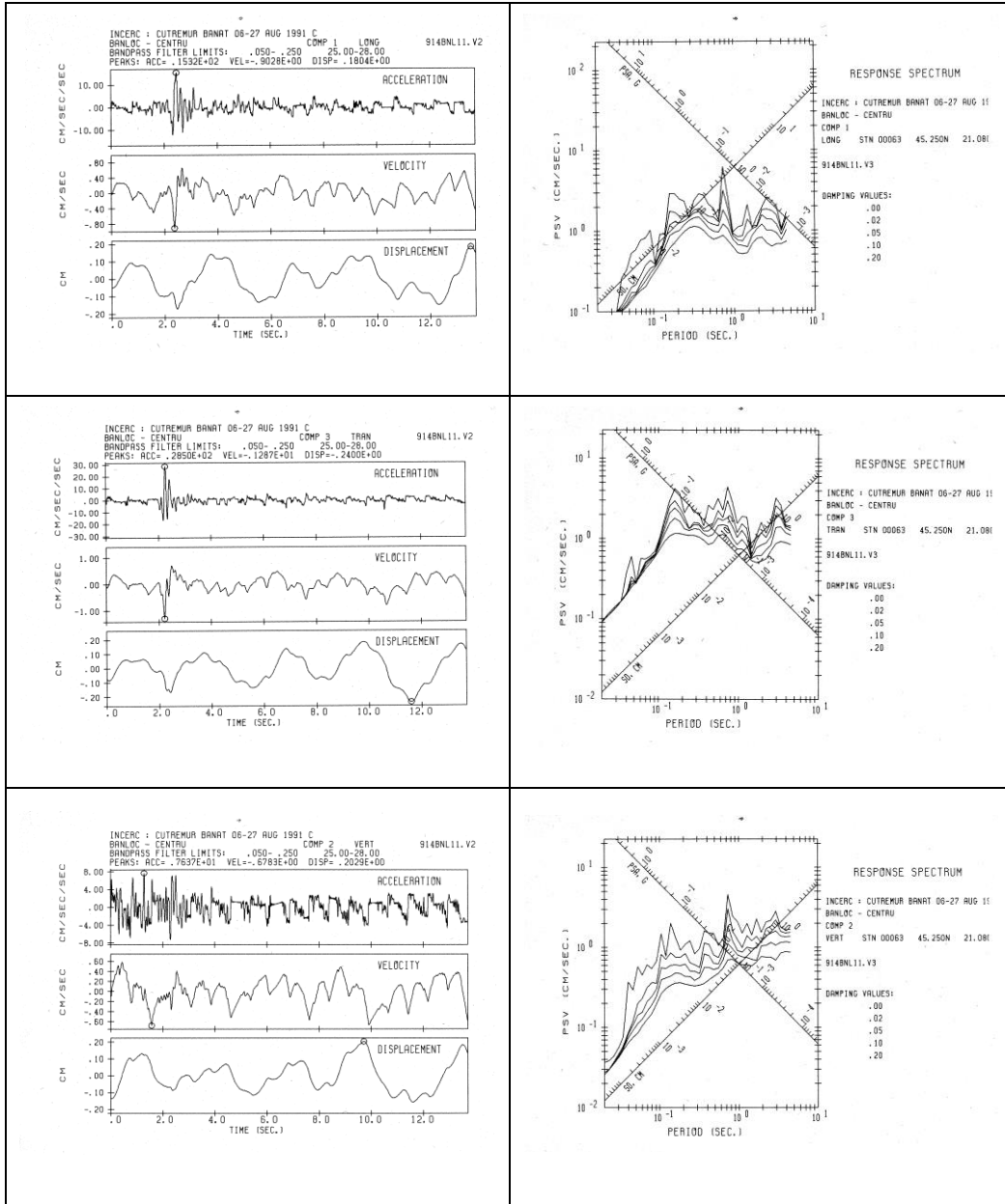


8. 917BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 917BNL1 – BANLOC - Banat

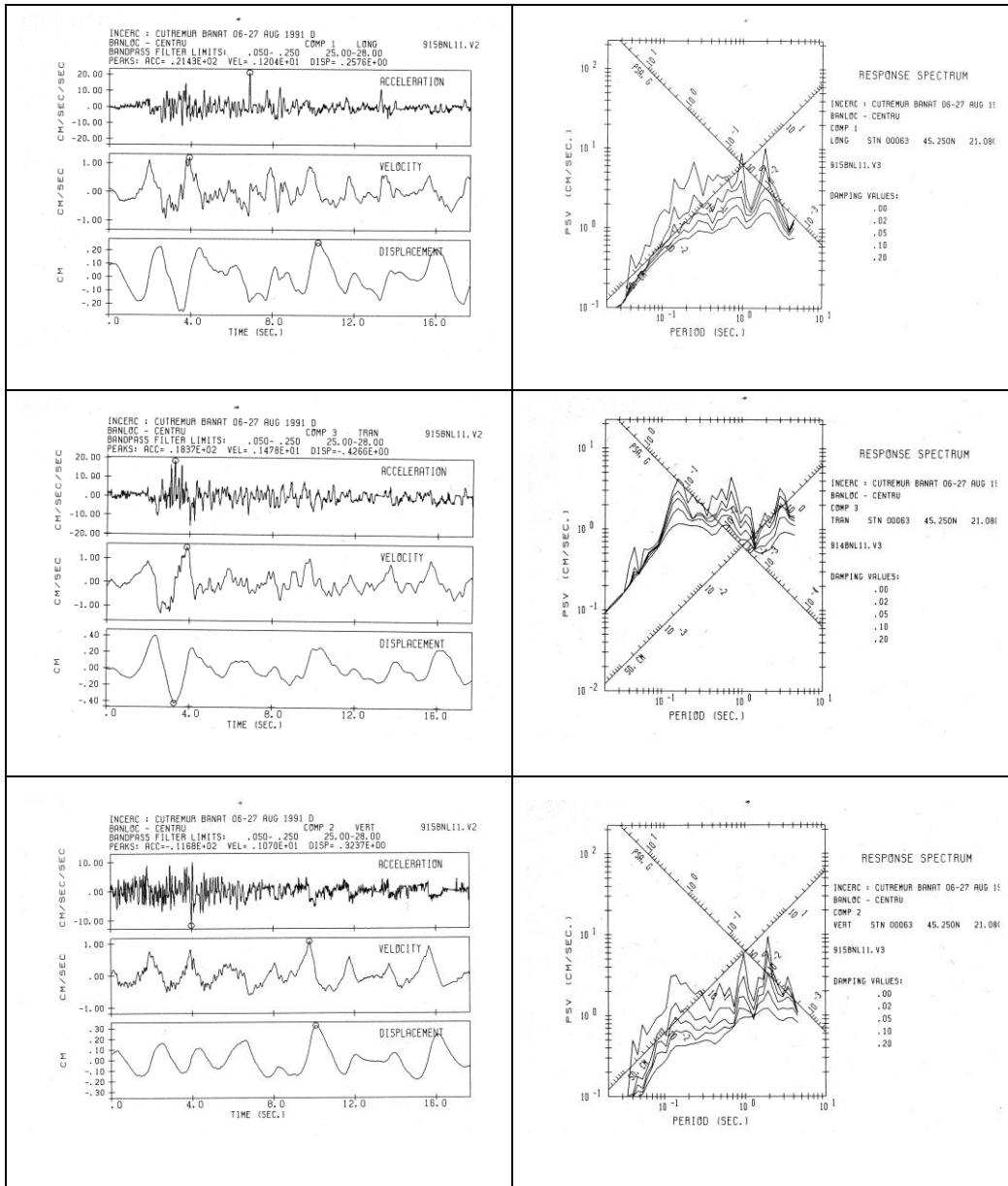




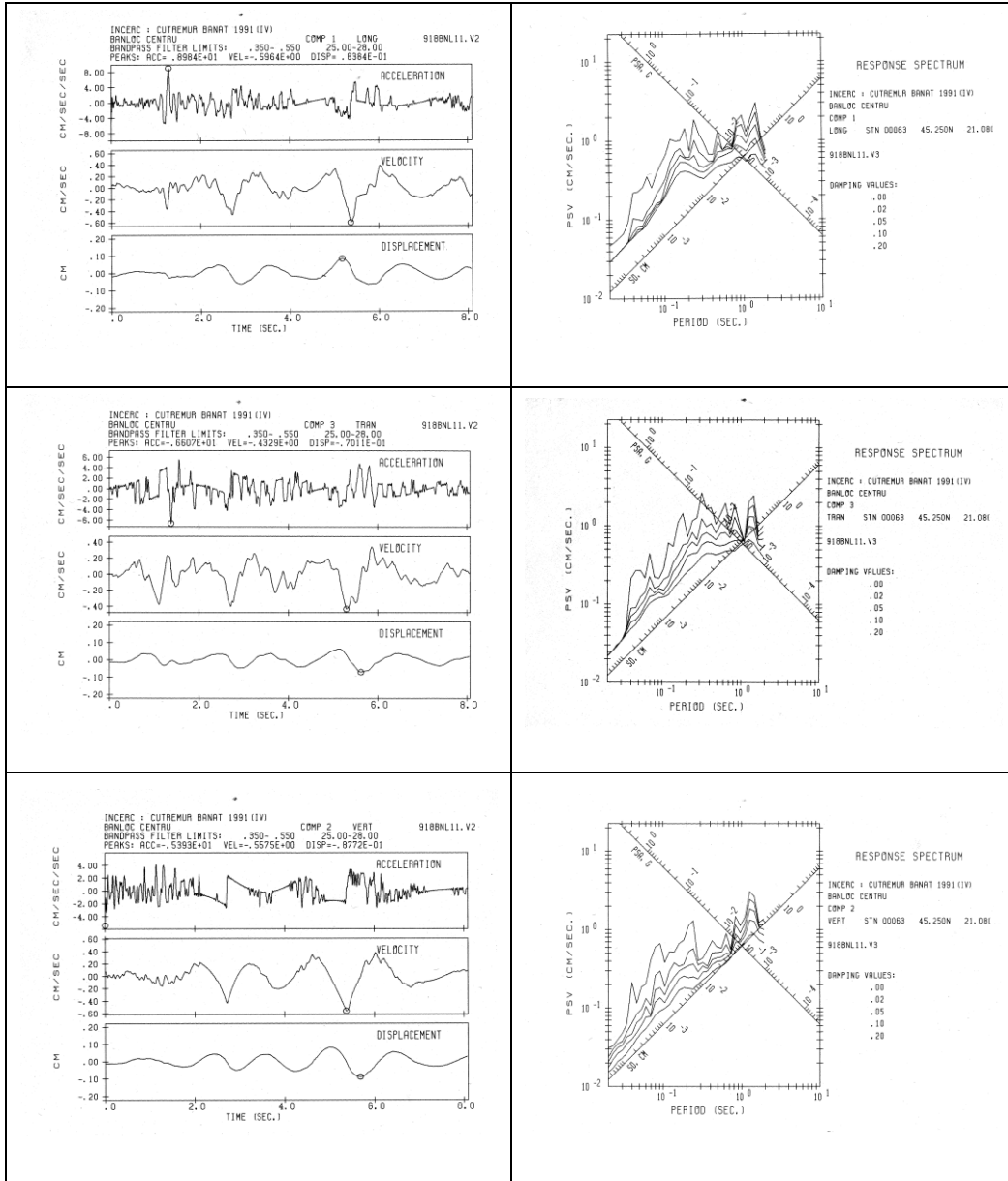
9. 921TIM2.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 921TIM2 – Timișoara Calea Buziașului - Banat



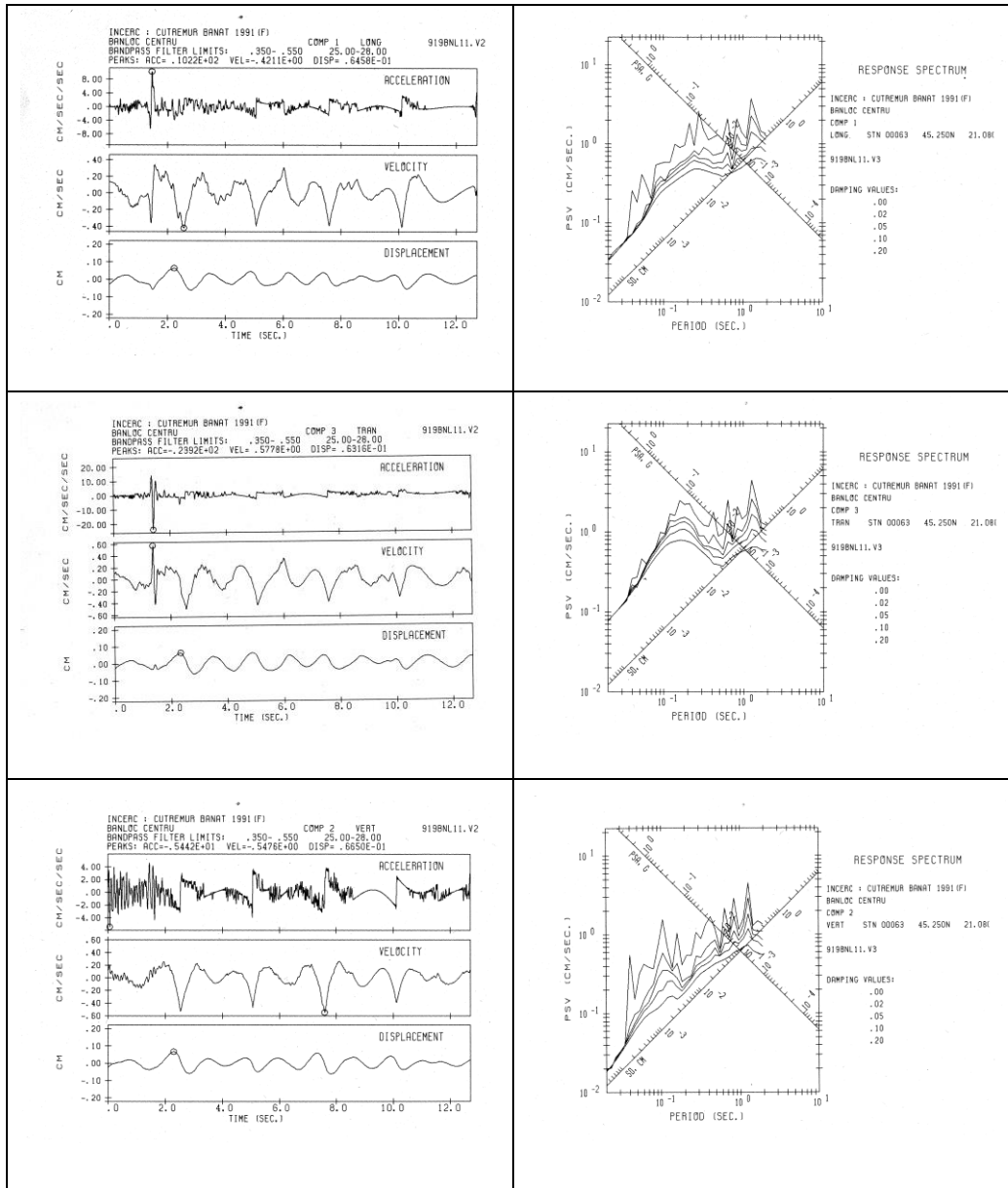
10. 914BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 914BNL1 – BANLOC - Banat



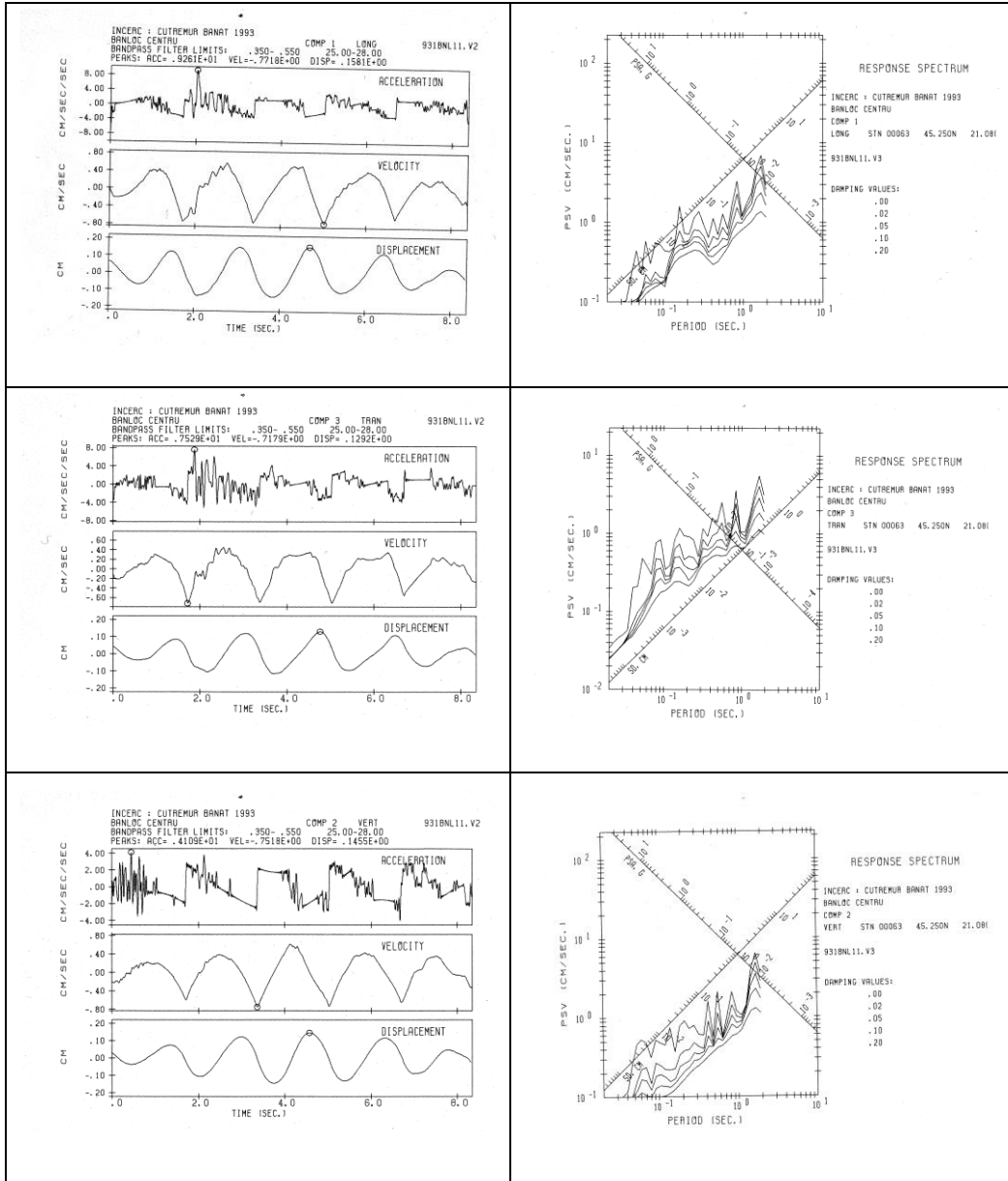
11. 915BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 915BNL1 – BANLOC - Banat



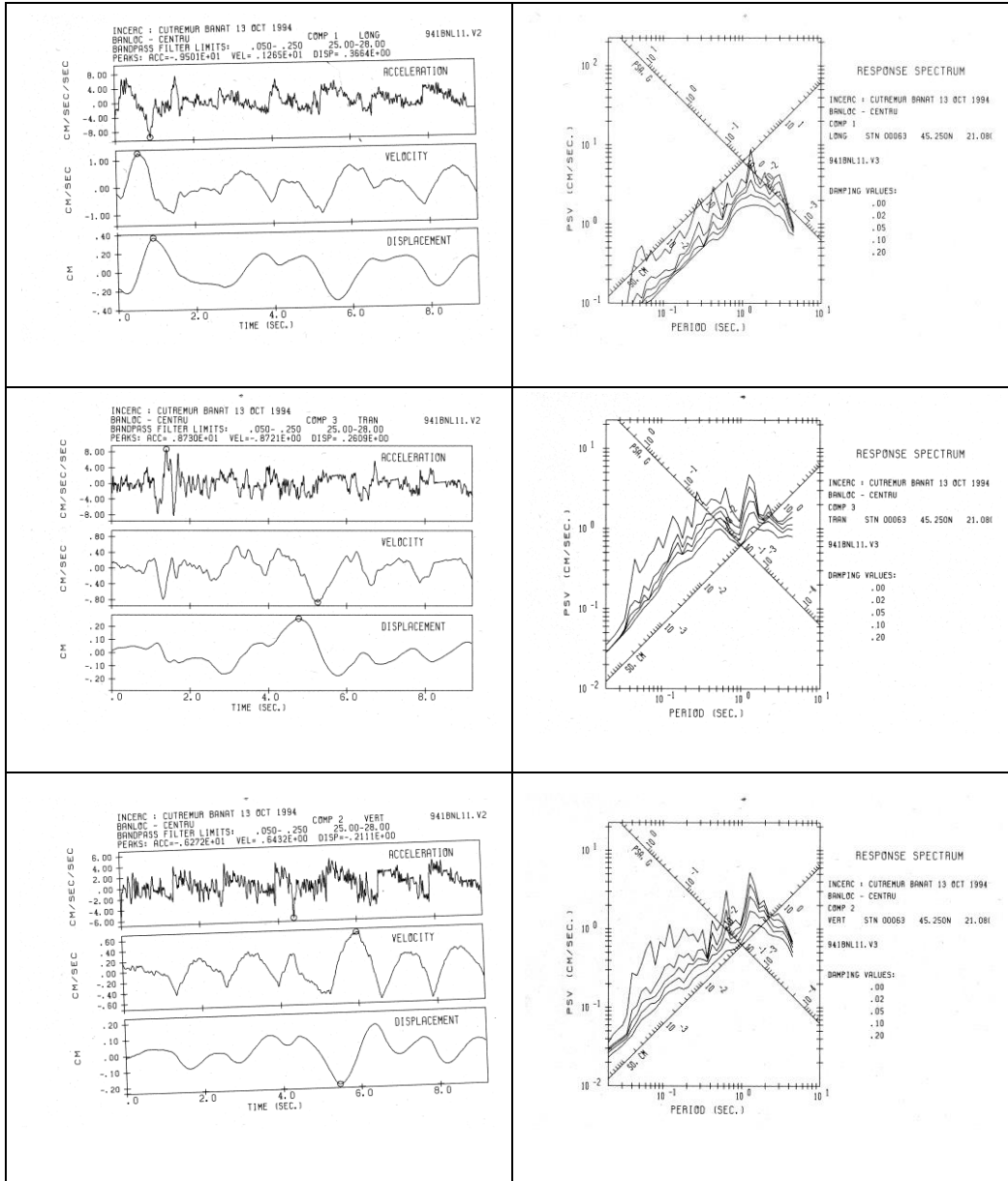
12. 918BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 918BNL1 – BANLOC - Banat



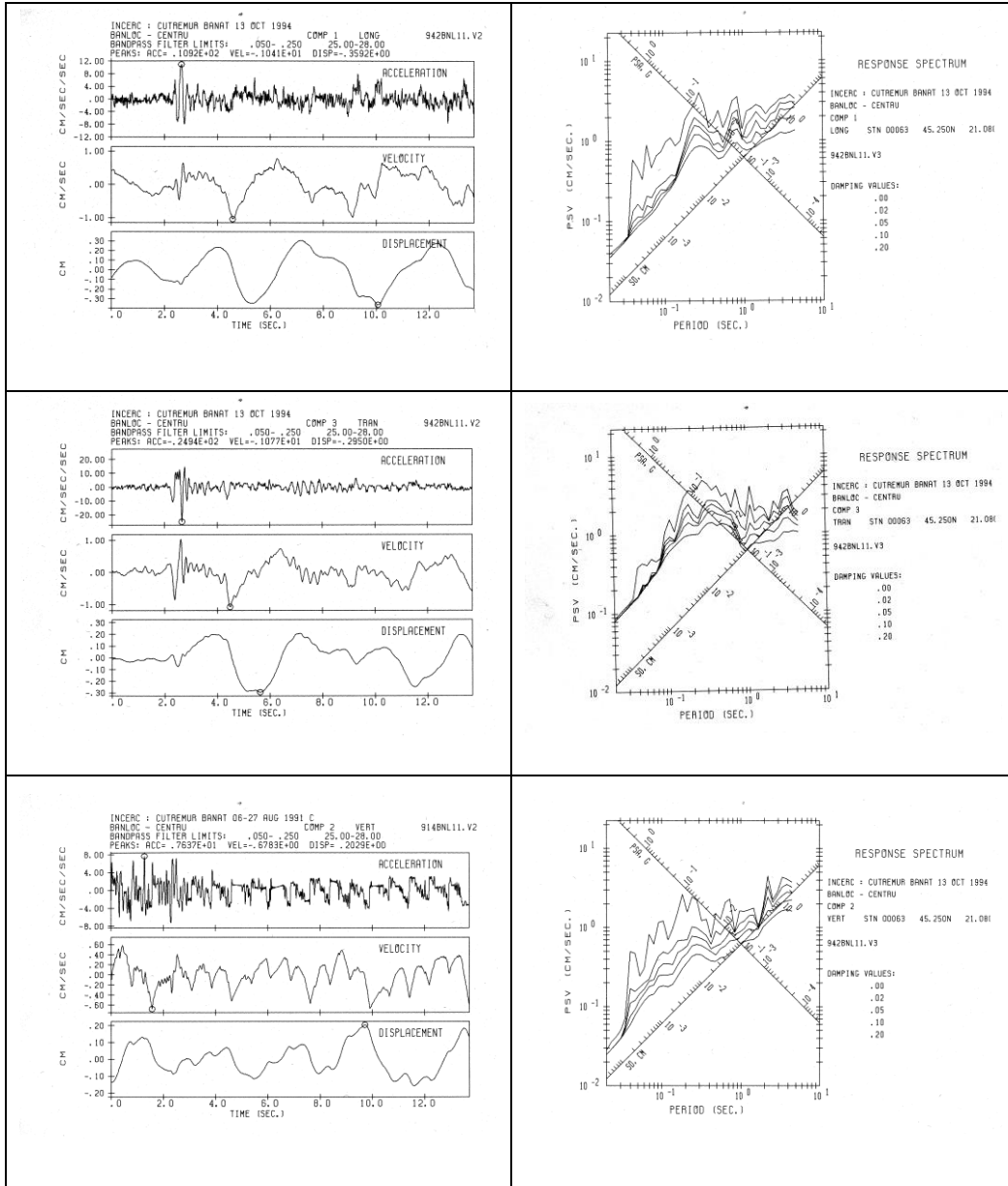
13. 919BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 919BNL1 – BANLOC - Banat



14. 931BNL.1 – Istorii în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 931BNL1 – BANLOC - Banat

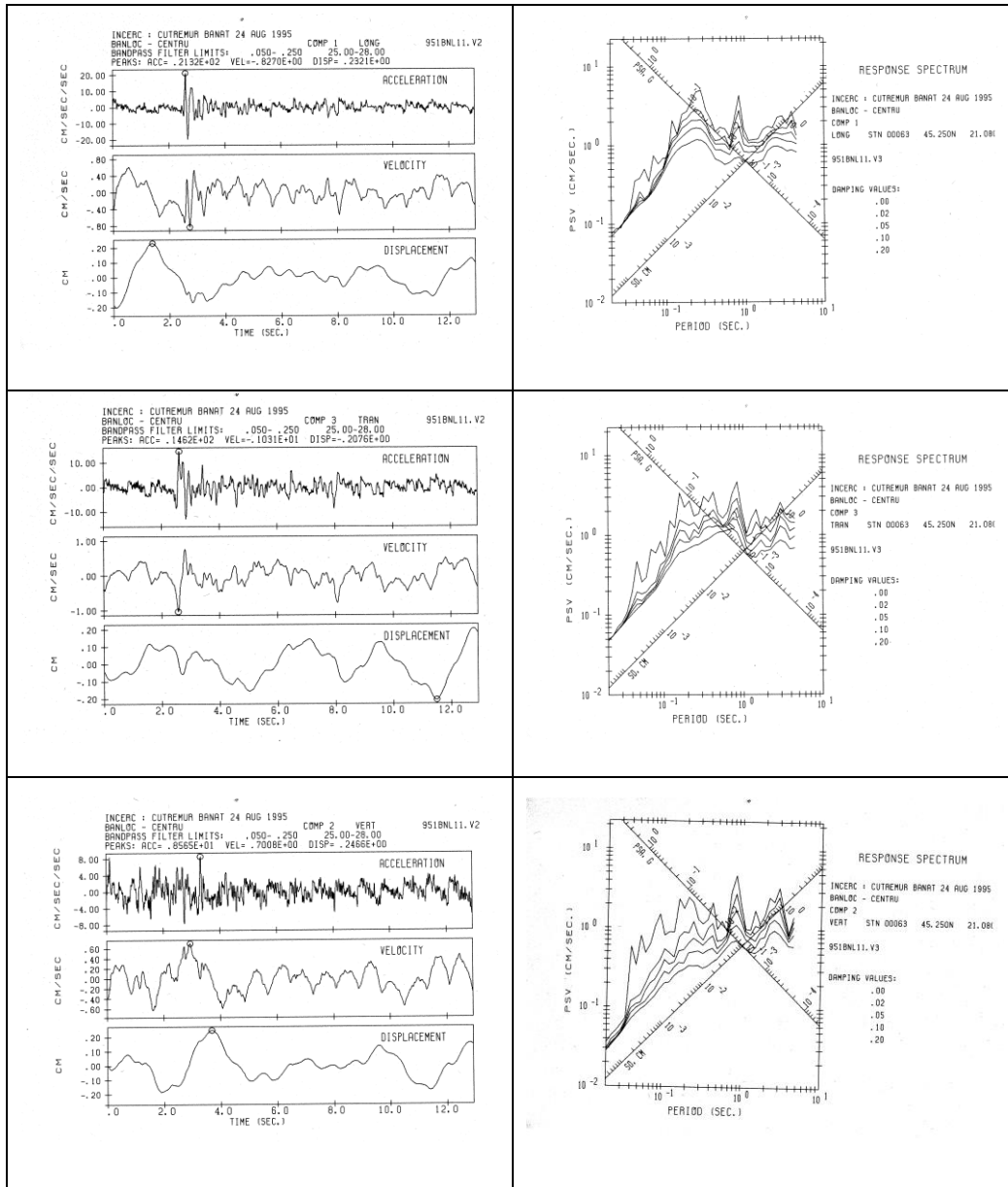


15. 941BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 941BNL1 – BANLOC - Banat

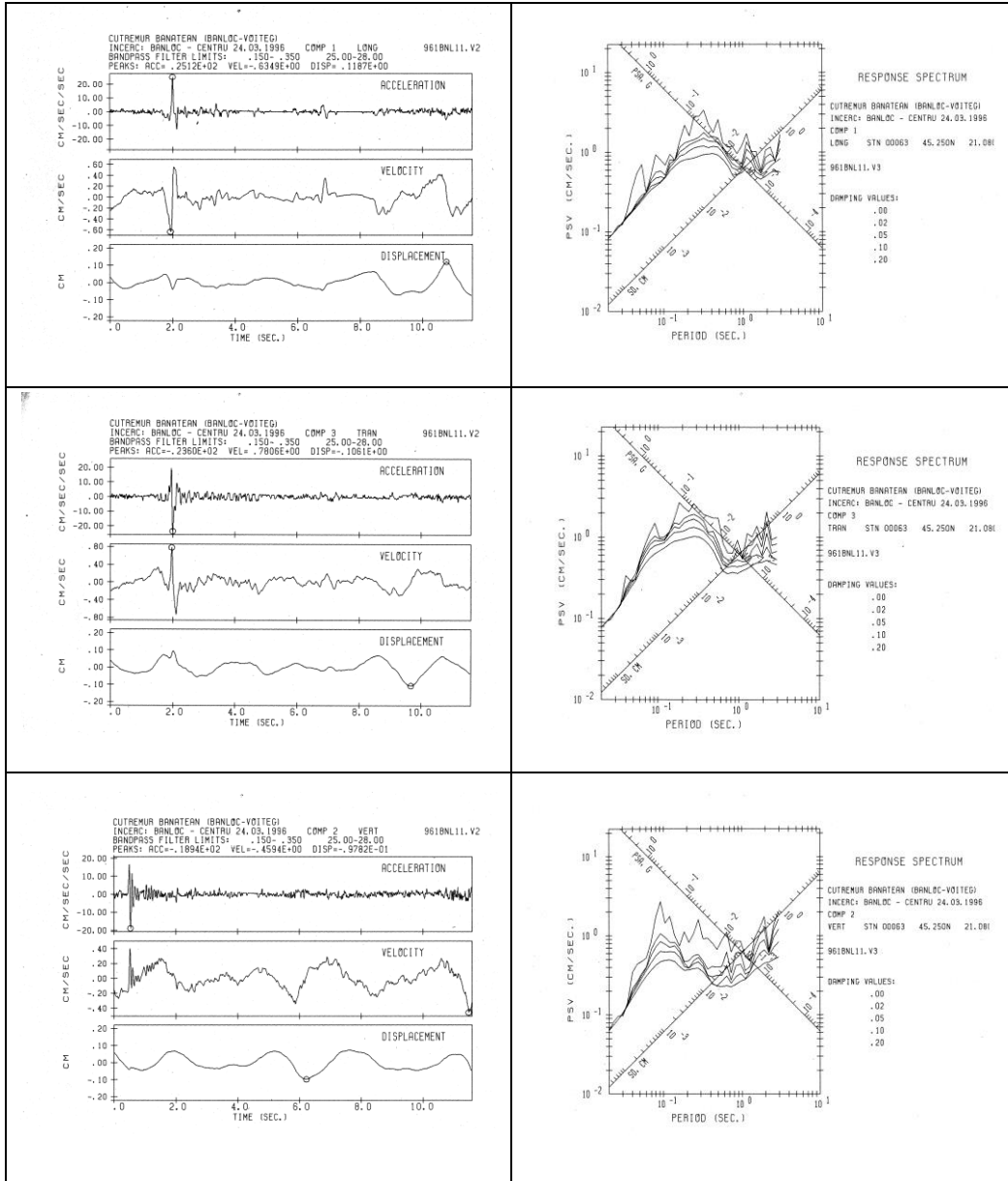


16. 942BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 942BNL1 – BANLOC - Banat

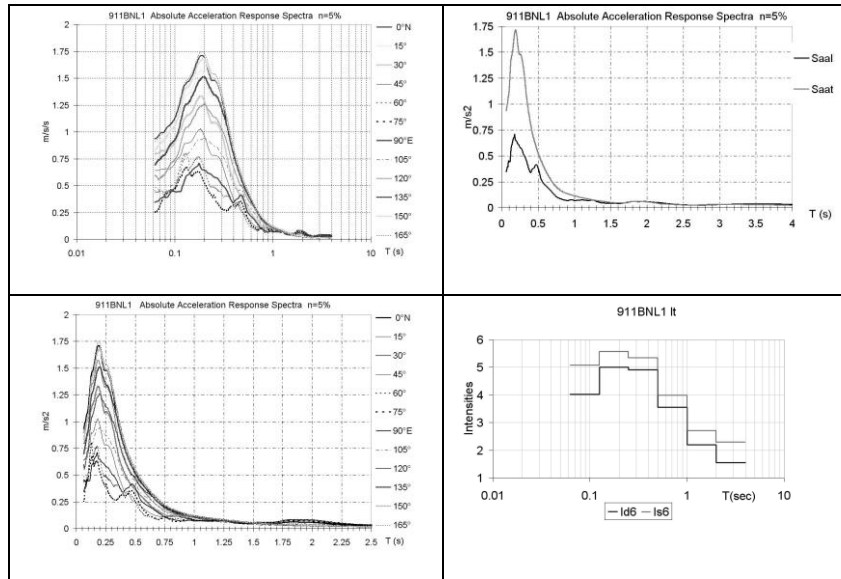




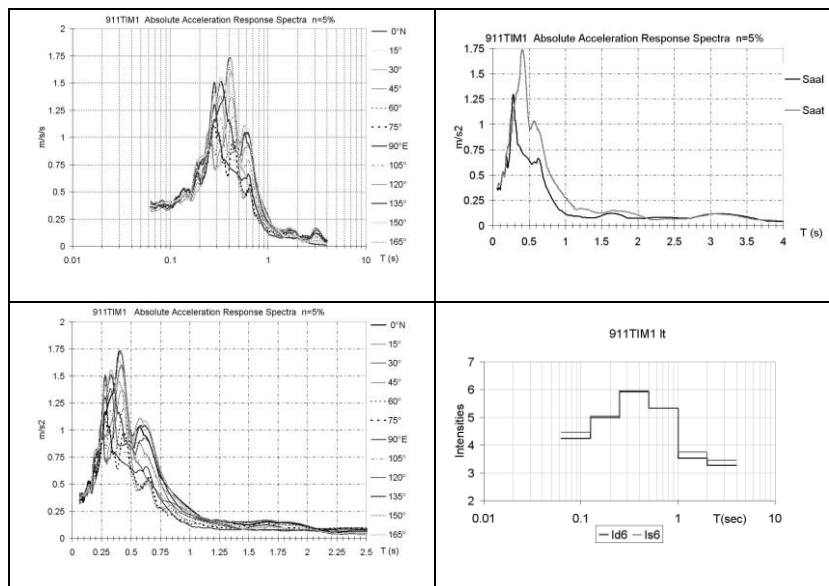
17. 951BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 951BNL1 – BANLOC - Banat



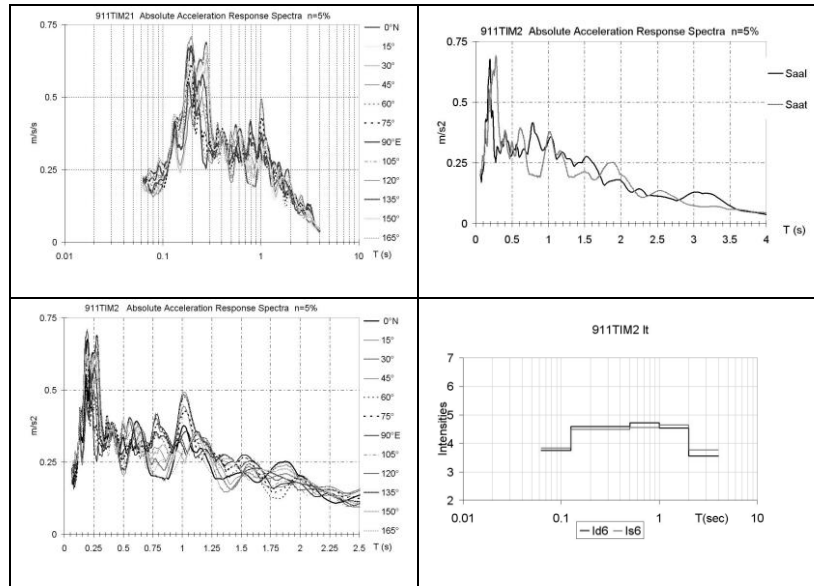
8. 961BNL.1 – Istории în timp și spectre de răspuns în format Kinematics pentru înregistrarea 961BNL1 – BANLOC - Banat



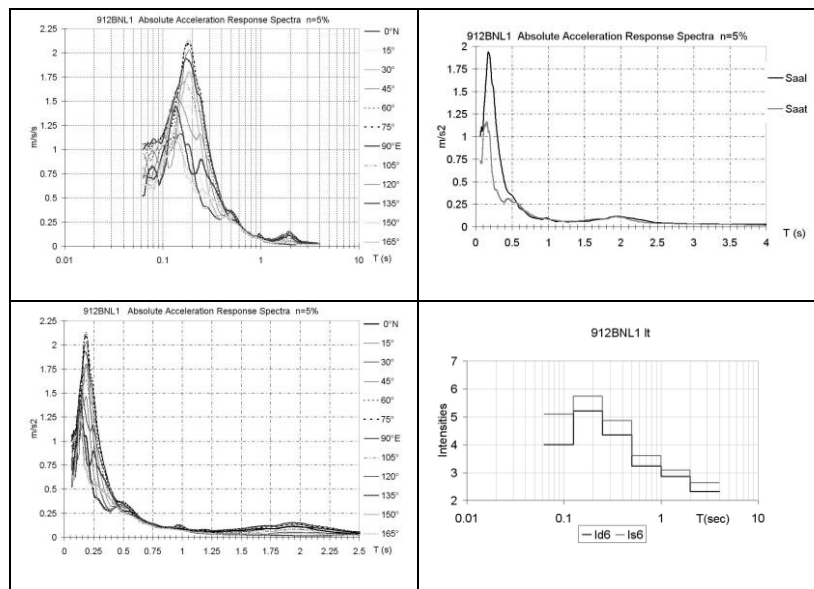
19. 911BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 911BNL1 – BANLOC - Banat



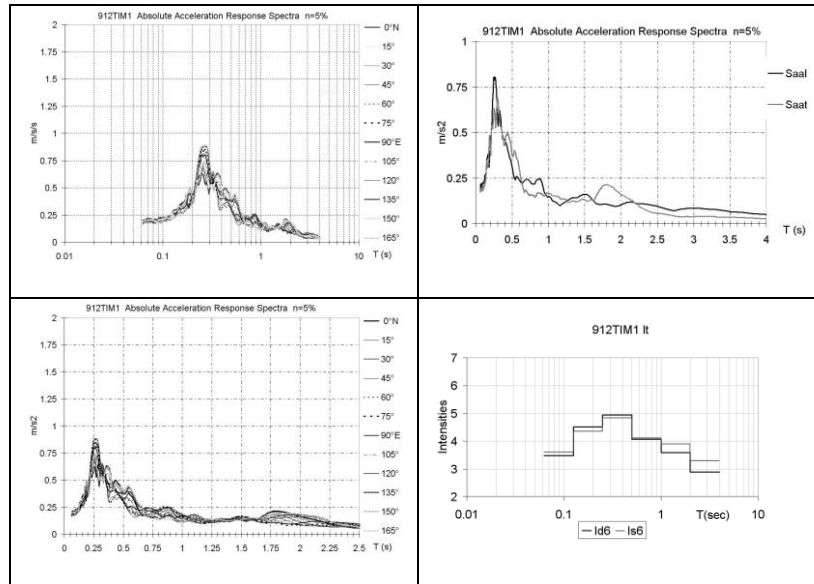
20. 911TIM1.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 911TIM1 – Timișoara B-dul Dâmbovița - Banat



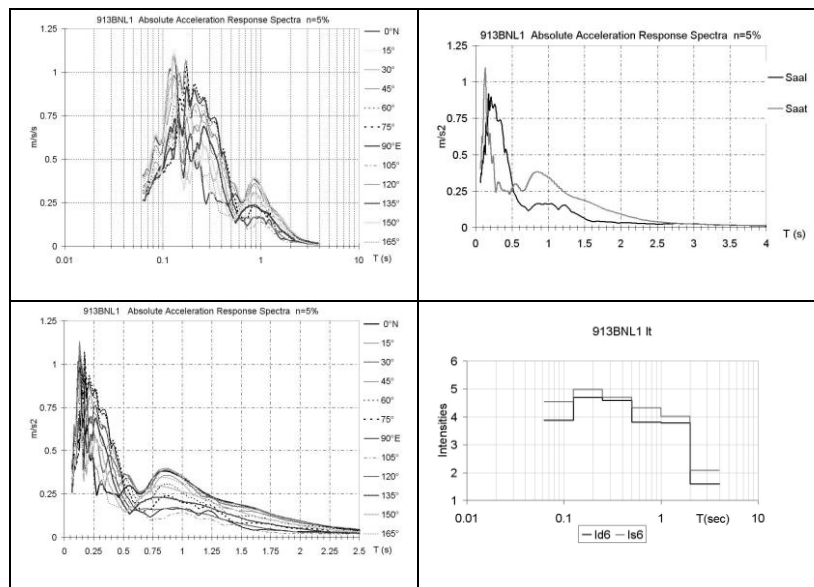
21. 911TIM2.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 911TIM2 – Timișoara Calea Buziașului - Banat



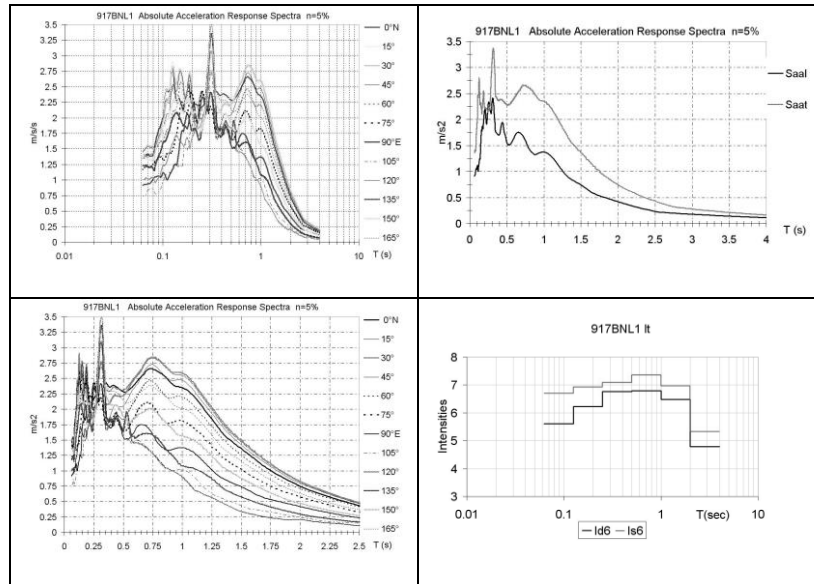
22. 912BNL1.2 - Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 912BNL1 – BANLOC - Banat



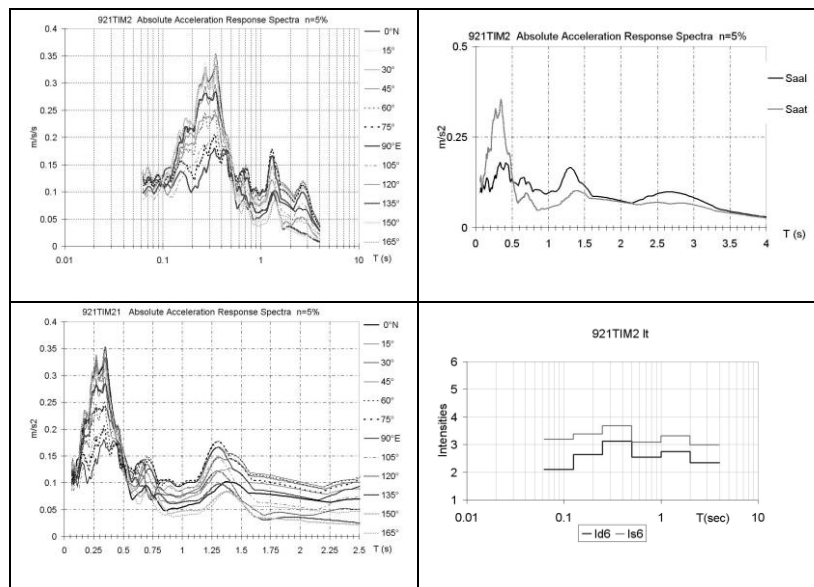
23. 912TIM1.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 912TIM1 – Timișoara B-dul Dâmbovița - Banat



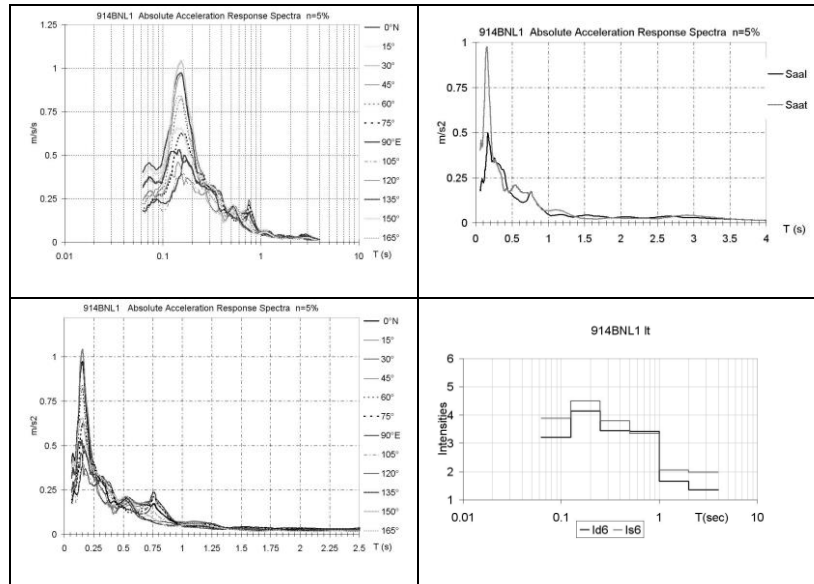
24. 913BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 913BNL1 – BANLOC - Banat



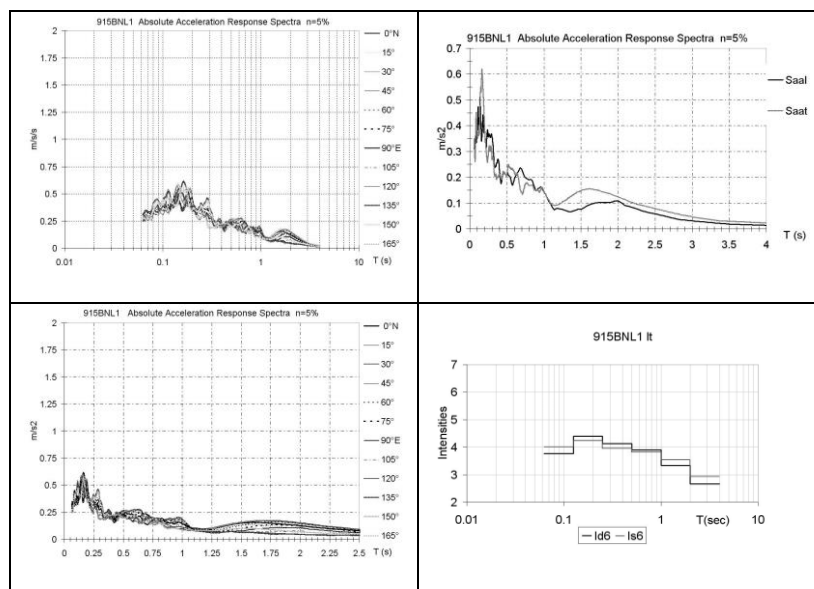
25. 917BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 917BNL1 – BANLOC - Banat



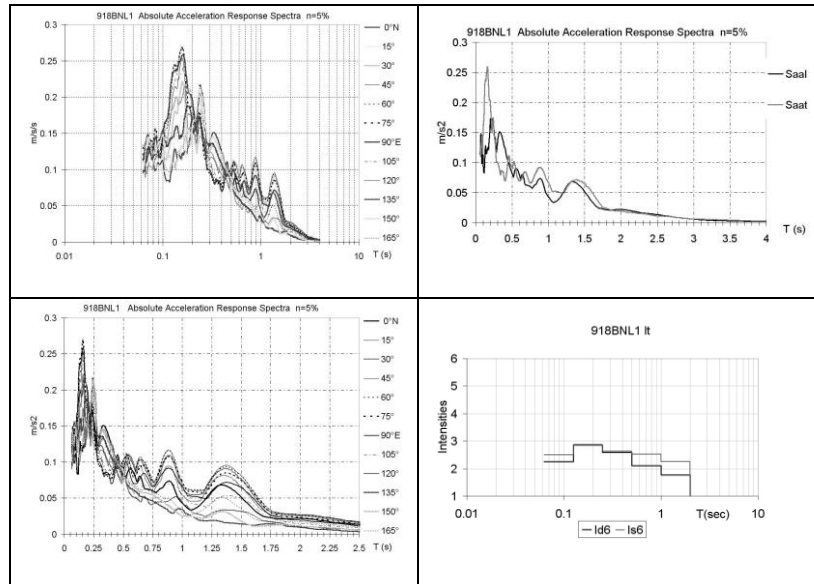
26. 921TIM2.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 921TIM2 – Timișoara Calea Buziașului – Banat



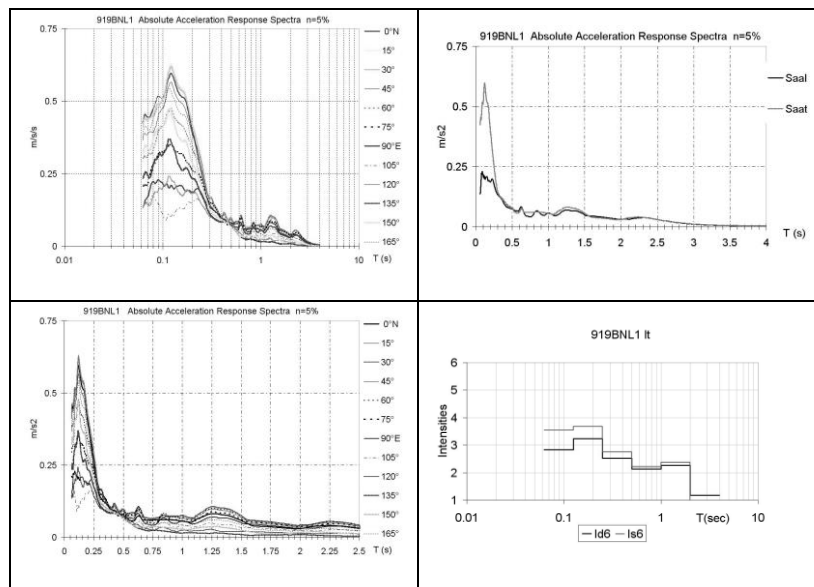
27. 914BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 914BNL1 – BANLOC - Banat



28. 915BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 915BNL1 – BANLOC - Banat

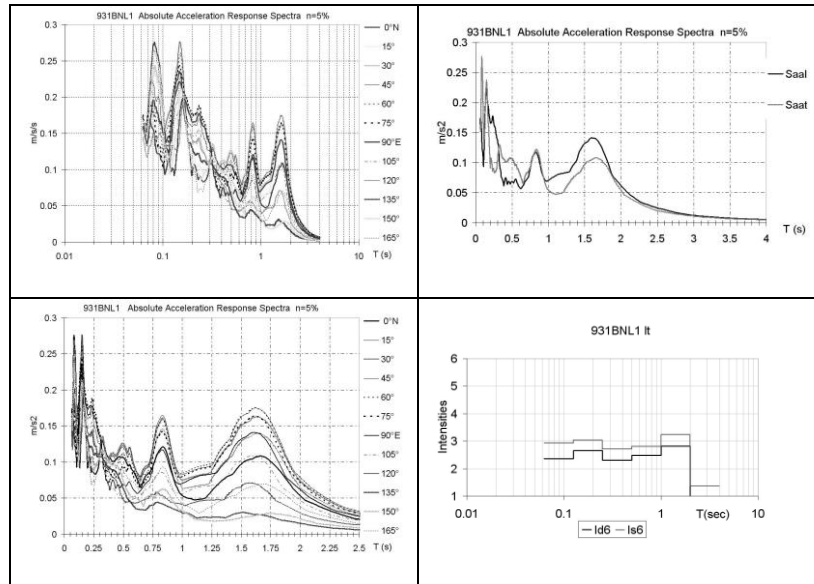


29. 918BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 918BNL1 – BANLOC – Banat

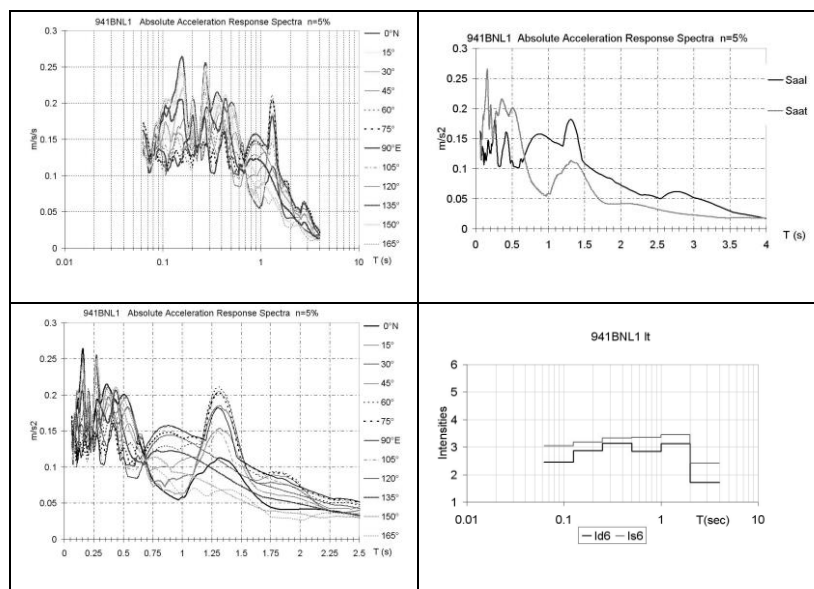


30. 919BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 919BNL1 – BANLOC - Banat

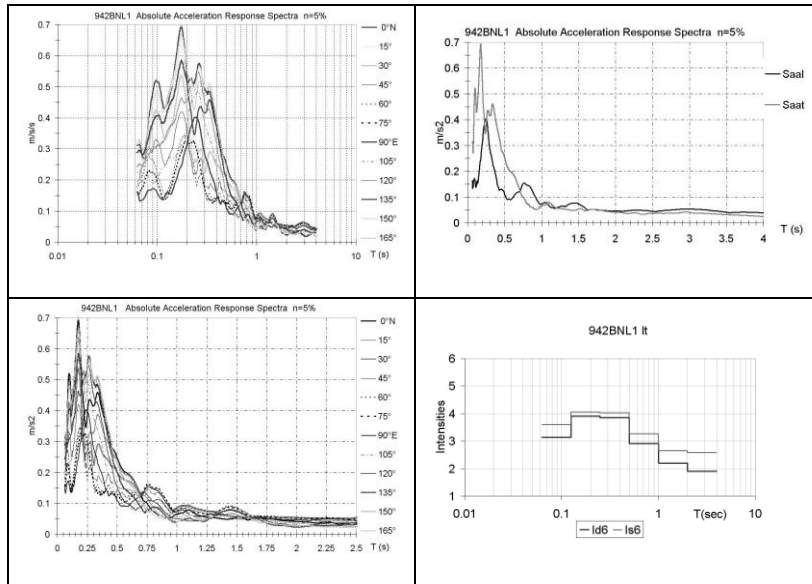




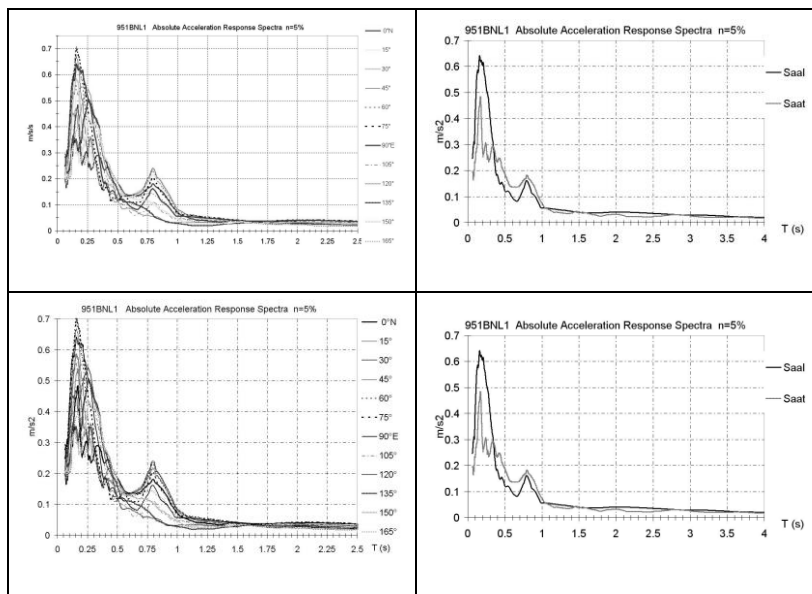
31. 931BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 931BNL1 – BANLOC - Banat



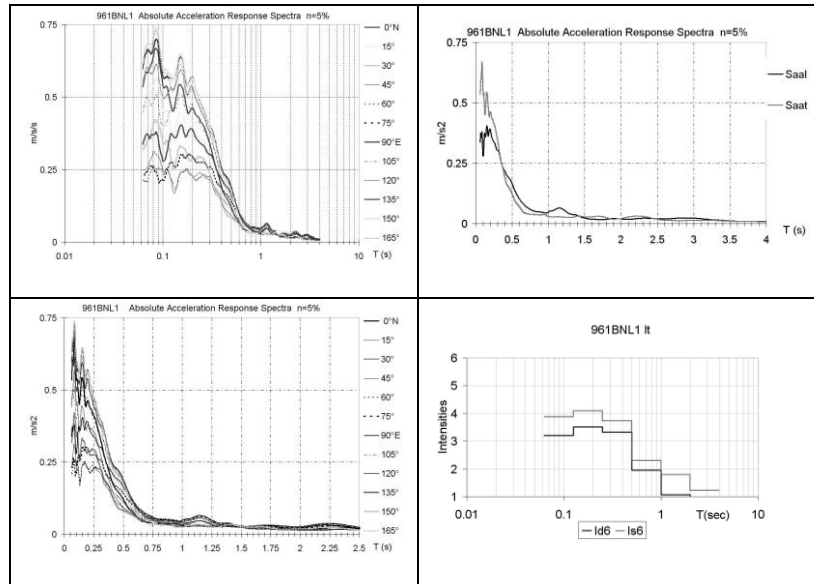
32. 941BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 941BNL1 – BANLOC - Banat



33. 942BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 942BNL1 – BANLOC - Banat



34. 951BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 951BNL1 – BANLOC - Banat



35. 961BNL.2 – Spectre de răspuns și spectre de intensități pentru înregistrarea 961BNL1 – BANLOC - Banat