



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL ÎNCĂLZIRII, ENERGIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PENSIUNILOR VĂRĂSTICE  
AMPOBORU



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE  
OIPOSDRU



Universitatea Tehnică  
de Construcții București

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI**

**Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole**

# **TEZA DE DOCTORAT**

## **Rezumat**

*Vulnerabilitatea seismică a fondului  
construit din România la acțiunea  
cutremurelor Vranceane*

**Doctorand**

*Ing. BICĂ M. Andrei-Gabriel*

**Conducător științific**

*Prof. univ. dr. ing. Dan LUNGU*

**BUCUREȘTI**

**2013**



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL ÎNCALEZĂRII FAMILIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PERSONELOR VÂRSTNICI  
AȘIPIBORU



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE

OPOSDRU



Universitatea Tehnică  
de Construcții București

## UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

### Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole

*Titularul prezentei teze de doctorat a beneficiat pe întreaga perioadă a studiilor universitare de doctorat de bursă atribuită prin proiectul strategic „Burse oferite doctoranzilor în Ingineria Mediului Construit”, beneficiar UTCB, cod POSDRU/107/1.5/S/76896, proiect derulat în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane, finanțat din Fondurile Structurale Europene, din Bugetul Național și cofinanțat de către Universitatea Tehnică de Construcții București.*

## TEZA DE DOCTORAT

### Rezumat

# *Vulnerabilitatea seismică a fondului construit din România la acțiunea cutremurelor Vrâncene*

#### Doctorand

*Ing. BICĂ M. Andrei-Gabriel*

#### Conducător de doctorat

*Prof. univ. dr. ing. Dan LUNGU*

BUCUREȘTI

2013



UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI  
TECHNICAL UNIVERSITY OF CIVIL ENGINEERING  
OF BUCHAREST

Bd. LACUL TEI 124 \* Sect. 2 RO-72302 \* Bucharest 38 ROMÂNIA  
Tel. :+40-1-242.12.08, Tel./Fax:+40-1-242.07.81

Nr. 7746/09 09 2013

*Domnului/doamnei,*

.....  
.....

Vă facem cunoscut că în ziua de **24.09.2013 ora 14,00**, în **Amfiteatrul - I 2**, al **Facultății de Construcții Civile, Industriale și Agricole a Universității Tehnice de Construcții București**, Bdul. Lacul Tei nr.122-124, sector 2, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat cu titlul: **“Vulnerabilitatea seismică a fondului construit din România la acțiunea cutremurelor vrâncene”**, elaborată de domnul ing. **BICĂ M. Andrei-Gabriel**, în domeniul fundamental **“Științe inginerești”**, domeniul de doctorat **“Inginerie civilă”**, cu următoarea componență:

Președinte:	Prof.univ.dr.ing. Daniela Ionela Eugenia PREDA	Decan - Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole a Universității Tehnice de Construcții București
Conducător științific:	Prof.univ.dr.ing. Dan LUNGU	Universitatea Tehnică de Construcții București
Referenți:	Prof.univ.dr.ing. Nicolae ȚĂRANU	Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași
	Prof.univ.dr.ing. Mircea PETRINA	Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
	Prof.univ.dr.ing. Radu VĂCĂREANU	Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole a Universității Tehnice de Construcții București

Vă înaintăm alăturat, un exemplar din teza de doctorat, rugându-vă să o analizați și să întocmiți un referat, în două exemplare, care să conțină aprecieri generale analitice precum și concluzii temeinic motivate asupra valorii și admisibilității susținerii tezei.

Referatul va fi depus la secretariatul Rectoratului cel târziu până la data de 17.09.2013, pe adresa Secretariatului Rectoratului al U.T.C.B., din Bdul. Lacul Tei nr. 122 - 124, sector 2, București.

Vă invităm cu acest prilej să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

**RECTOR,**

**Prof.univ.dr.ing. Iohán NEUNER**



Secretar șef al universității,

**Prof.univ.dr.ing. Laurențiu RECE**

# CUPRINS

<b>Introducere</b> .....	2
<b>1. Seismicitatea României. Cataloage de cutremure</b> .....	2
1.1. Seismicitate globală și regională .....	2
1.2. Seismicitatea României și monitorizarea activității seismice .....	3
1.3. Cataloagele cutremurelor Vrance și recurența magnitudinilor .....	3
1.3.1. Cutremure Vrance istorice înainte de 1900 .....	3
1.3.2. Cutremure Vrance după 1900 .....	4
1.4. Impactul regional al cutremurelor Vrance .....	4
<b>2. Caracterizarea fondului imobiliar existent</b> .....	4
2.1. Evoluția codurilor de proiectare seismică .....	5
2.2. Clase de importanță și expunere. Matricea de risc seismic .....	5
2.3. Tipologii structurale .....	5
2.4. Expertizarea tehnică a clădirilor vulnerabile .....	5
2.5. Reabilitare termică vs. reabilitare seismică .....	10
2.6. Patrimoniul istoric și de arhitectură .....	10
<b>3. Evaluarea vulnerabilității seismice</b> .....	10
3.1. Factori care influențează vulnerabilitatea seismică .....	10
3.2. Clasificarea metodelor de evaluare a vulnerabilității .....	11
3.2.1. Metode empirice .....	11
3.2.2. Metode analitice .....	11
3.2.3. Metode mixte .....	12
3.2.4. Metode aplicate și aplicabile în România .....	12
<b>4. Studiu de vulnerabilitate seismică privind unele clădiri existente din București</b> .....	12
4.1. Descrierea metodei alese .....	12
4.2. Studii de caz pentru structuri din cadre beton armat .....	13
<b>5. Concluzii și contribuții personale</b> .....	14
<b>Bibliografie selectivă</b> .....	16

Cuvinte cheie: *vulnerabilitate seismică, fond imobiliar, degradare structurală, mișcare seismică, analiză static neliniară, funcții de fragilitate.*

## **Introducere**

Evaluarea vulnerabilității seismice a construcțiilor apare ca un instrument esențial în vederea descrierii siguranței seismice a structurilor, fiind utilă în pregătirea pentru dezastre, evaluarea și estimarea pierderilor, planificarea reparării și consolidării clădirilor și reprezintă un aspect important în reducerea riscului seismic.

În Introducere se prezintă conținutul și obiectivele urmărite în cadrul tezei de doctorat.

Capitolul 1 interpretează seismicitatea României la nivel global și regional. Sunt prezentate cauzele și efectele cutremurelor, fiind descrisă și analizată sursa seismică Vrancea și impactul regional al cutremurelor Vranceane. Totodată, sunt discutate cataloagele cutremurelor istorice, precum și relațiile de recurență a magnitudinilor.

În Capitolul 2 fondul imobiliar existent este caracterizat prin intermediul tipologiilor constructive, a evoluției codurilor de proiectare seismică, a claselor de importanță-expunere și a matricei de risc seismic. Clădirile din București (și implicit apartamentele pe care acestea le conțin) expertizate tehnic și încadrate în clasa I de risc seismic sunt grupate considerând regimul de înălțime, anul construirii și sectorul de care aparțin. Sunt reliefate câteva aspecte referitoare la desfășurarea programului de reabilitare termică a clădirilor în detrimentul programului de reabilitare seismică, care în mod evident ar trebui să primeze.

În Capitolul 3 sunt enumerați și interpretați posibii factori ce pot influența vulnerabilitatea seismică și sunt prezentate cele trei categorii de metode de evaluare a vulnerabilității seismice: empirice, analitice și mixte, evidențiind avantajele și dezavantajele fiecărei metode. De asemenea, sunt amintite și metodele aplicate și eventual, aplicabile în România.

Studiul de caz din Capitolul 4 prezintă o analiză a vulnerabilității fondului construit existent prin obținerea funcțiilor de fragilitate ale unor clădiri înalte din București, cu structura din cadre de beton armat și zidărie de umplutură, proiectate și construite în perioade și după norme diferite. Studiul va consta în compararea deplasărilor spectrale așteptate ale clădirilor și a probabilităților structurilor de a se afla într-o anumită stare de degradare.

În final se prezintă principalele concluzii și contribuții personale ale lucrării, precum și bibliografia consultată în vederea redactării acestei teze de doctorat.

### **1. Seismicitatea României. Cataloage de cutremure.**

Distrugerile produse de seismele puternice recente în diferite regiuni ale globului: Japonia, China, Haiti, Indonezia atrag atenția asupra necesității luării de măsuri urgente pentru reducerea pierderilor de vieți omenești, a pagubelor sociale și economice.

#### **1.1. Seismicitate globală și regională**

Cel mai distrugător cutremur din lume a fost cutremurul Shaanxi, din anul 1556, care a provocat dispariția a 830.000 de oameni. Statisticile arată cel puțin 1248 de cutremure letale în secolul XX, cu un total de 168.000 de decese raportate oficial. În medie, peste 10.000 de persoane au decedat anual din cauza cutremurelor de pământ în secolul XX [43].

Majoritatea cutremurelor lumii se produc în jurul Oceanului Pacific și în zona muntoasă ce se întinde din zona Insulelor Azore și până în Indonezia, dar există totuși și zone imense pe glob, unde nu se produc cutremure.

## 1.2. Seismicitatea României și monitorizarea activității seismice

La nivel global, România este o țară caracterizată printr-o seismicitate moderată. În schimb, pe teritoriul Europei se manifestă ca având unele dintre cele mai active surse seismice.

Hazardul seismic din România este datorat contribuției a doi factori:

- contribuția majoră a zonei seismice subcrustale Vrancea, care generează cutremure puternice;
- alte contribuții provenind din zone seismogene de suprafață, distribuite pe întreg teritoriul țării: Banat, Făgăraș, Maramureș și Dobrogea, unde se produc cutremure crustale de intensități și frecvențe mai reduse [41].

Sursa Vrancea este capabilă să producă mari distrugereri în peste 2/3 din teritoriul României și în primul rând în București. De-a lungul secolelor, efectul cutremurelor Vrancea a fost simțit pe o arie mai mare de 2 milioane km<sup>2</sup>, în Europa, incluzând țări vecine cât și în zone mai îndepărtate: Austria, Rusia, Grecia, Turcia [80].

Pentru monitorizarea sursei Vrancea, în prezent, rețelele seismice naționale cuprind peste 100 de accelerometre pentru înregistrarea cutremurelor puternice, amplasate în condiții ce pot fi considerate câmp liber, ale căror înregistrări pot fi creditate pentru a fi utilizate în analizele de hazard seismic, la scară macroseismică și microseismică în România.

## 1.3. Cataloagele cutremurelor Vrancea și recurența magnitudinilor

Primele cataloage complete ale cutremurelor ce au avut loc pe teritoriul României au fost elaborate de Cornelius Radu în anii 1970, 1974, 1980 și 1994 (publicate în Lungu et al. [80] și revizuite de Lungu și Aldea în anul 2000 [75]) și de Constantinescu și Mârza în 1980 [34].

În 1997, Romplus a lansat o versiune bazată pe catalogul Constantinescu-Mârza, care este constant actualizată pe pagina de internet a Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului (<http://www.infp.ro/catalog-seismic>) [59].

### 1.3.1. Cutremure Vrancea istorice înainte de 1900

Tabel 1.5. Catalogul istoric al cutremurelor Vrancea ( $M_{G-R} \geq 7.0$ ) în perioada 984-1900 [75]

Nr.	Data zz.ll.aaaa	Ora hh:mm:ss	Intensitatea, $I_0$		Magnitudine, $M_{G-R}$		Sursa
			Radu	Alții	Radu	Alții	
1	01.04.1170		8	8.5/CM	6.7	7.0/KS	KS
2	13.02.1196	07:	8/9	9/CM	(6.7)7.2	7.0/KS	KS
3	10.05.1230	07:	9*	8.5/CM	(6.9)7.3	7.1/KS	N, R, KS
4	1327 ± 1		8		6.7	7.0/KS	KS
5	10.10.1446	04:	8	8.5/CM	6.7	7.3/KS	KS
6	29.08.1471	10-11:	9*	8/9 KS	(6.7)7.4	7.1/KS	R
7	08.11.1516	12:	9	8/KS	(6.8)7.2	6.8/KS	R, RT, KS
8	08.11.1620	13-14:	9	8/KS	(6.9)7.2	6.5/KS	R, RT
9	19.08.1681	00-01:	9		(6.7)7.4	6.8/KS	CM, R, RT
10	31.05 / 11.06.1738	10-11:	9		(6.9)7.4	șocul principal	R, RT
11	26.10.1802	10:55	9	7.5	(7.5)7.6	7.4/KS	R, KS

### 1.3.2. Cutremure Vrâncene istorice după 1900

Tabel 1.6. Catalogul cutremurelor Vrâncene după 1900 ( $M_w \geq 6.5$ ), INFP

Nr.	Data	Ora	Lat. N°	Long. E°	Adancimea focarului (km)	Intensitatea, $I_0$	Magnitudinea, $M_w$
	zz.ll.aaaa	hh:mm:ss					
1	06.02.1904	2:49	45.7	26.6	75	6	6.6
2	06.10.1908	21:39:08	45.7	26.5	125	8	6.8
3	25.05.1912	18:01:07	45.7	27.2	90	7	6.7
4	29.03.1934	20:06:51	45.8	26.5	90	7	6.6
5	10.11.1940	1:39:07	45.8	26.7	150	9	7.7
6	07.09.1945	15:48:26	45.9	26.5	80	7/8	6.8
7	09.12.1945	6:08:45	45.7	26.8	80	7	6.5
8	04.03.1977	19:22:15	45.34	26.3	94	7/9	7.4
9	30.08.1986	21:28:37	45.53	26.47	131	8	7.1
10	30.05.1990	10:40:06	45.82	26.9	91	8	6.9

Așa cum evidentiază și tabelul de mai jos, în secolul XX s-a manifestat cea mai puternică activitate seismică a sursei Vrancea.

Tabel 1.8. Numărul cutremurelor cu  $I_0 \geq 7.0$  și  $I_0 \geq 9.0$  [70]

Intensitate epicentrală (MSK)	Catalog istoric de cutremure	
	1984-1900	1901-2000
$I_0 \geq 9.0$	1	2
$I_0 \geq 7.0$	10	16

### 1.4. Impactul regional al cutremurelor Vrâncene

Sursa Vrancea domină hazardul seismic nu numai în România, ci și în Republica Moldova, Bulgaria, Ucraina și chiar Rusia, aspecte prezentate în detaliu în capitolele anterioare. Analiza cutremurelor Vrâncene a făcut obiectul a numeroase cercetări științifice publicate în articole și cărți de referință, nu numai de către autori români, ci și de cercetători din zonele învecinate și afectate direct de acțiunea cutremurelor Vrâncene.

## 2. Caracterizarea fondului imobiliar existent

Conform datelor rezultate din recensământul realizat în 2011 [62], fondul construit al României este format din 5.117.777 clădiri, ce adăpostesc 8.459.052 locuințe, în care trăiesc 20.121.641 de oameni.

Tabel 2.1. Date statistice privind populația și locuințele României, conform recensămintelor 1992-2011

Recensământ	1992	2002 față de 1992 (%)	2002	2011 față de 2002 (%)	2011
Populația	22.810.035	- 4.95	21.680.974	- 7.19	20.121.641
Numărul de clădiri	4.491.565	+ 7.94	4.848.100	+ 5.56	5.117.777
Numărul de locuințe	7.659.003	+ 5.85	8.107.144	+ 4.34	8.459.052

Analizând datele obținute în urma ultimelor 3 recensăminte realizate în România, din anii 1992, 2002 și 2011 [61], [62], se poate observa că, deși numărul populației este într-o continuă scădere, numărul clădirilor și astfel al locuințelor este într-o permanentă creștere.

## 2.1. Evoluția codurilor de proiectare seismică

Pentru a analiza un fond construit, ce cuprinde diferite tipuri de clădiri construite într-o perioadă lungă de timp, 70-80 de ani, este evident necesar a se cunoaște normele de proiectare care au fost folosite, dar și particularitățile acestora. Este normal ca într-o societate aflată într-o permanentă dezvoltare, aceste coduri să se schimbe și să se îmbunătățească de-a lungul timpului, ceea ce implică anumite diferențe între clădiri în funcție de perioada de proiectare.

## 2.2. Clase de importanță și expunere la cutremur. Matricea de risc seismic.

Asocierea nivelului de performanță al construcției cu un anumit nivel de hazard seismic se face în funcție de clasa de importanță și de expunere la cutremur din care face parte construcția.

## 2.3. Tipologii structurale

Pentru un fond general de construcții, parametrii ce caracterizează tipologiile de clădiri sunt: elementele structurale (sistem, înălțime, norme de proiectare și practici de execuție), elementele nestructurale și cele de ocupare (clădiri rezidențiale, comerciale, și publice). S-au analizat tipurile de clasificări din metodologiile HAZUS [49], EMS-98 [54] și RISK-UE [91].

## 2.4. Expertizarea tehnică a clădirilor vulnerabile

După 1990, autoritățile locale au lansat un program național de evaluare (expertizare tehnică) a clădirilor potențial vulnerabile, ca parte a strategiei naționale de reducere a riscului seismic. Scopul programului de expertizare seismică a clădirilor avariate de cutremurele Vranceane din 1940, 1977, 1986 și 1990, a fost realizarea unei liste de priorități de consolidare și de punere în siguranță a locatarilor din construcțiile cu probleme grave la structura de rezistență.

Încadrarea în clase de risc seismic a clădirilor de locuit expertizate tehnic din București este reprezentată în Tabelul 2.17, conform Listei Imobilelor Expertizate, publicată de Primăria Municipiului București, după ultima actualizare din data de 14.08.2013 [106].

Tabel 2.17. Clădiri din București expertizate și încadrate în clase de risc seismic [106]

Municipiul București	Clasa de risc seismic					Categoria de urgență
	RsI - pericol public	RsI	RsII	RsIII	RsIV	
Imobile	190	184	302	75	6	1626
Apartamente	5363	1276*	11070	1781	86	5258

### *Clădiri încadrate în clasa de risc seismic RsI - pericol public*

Tabelul 2.20 prezintă matricea ce grupează clădirile din București încadrate în clasa RsI - pericol public atât în funcție de anul de construire, cât și de regimul de înălțime.

Se poate observa faptul că majoritatea clădirilor, peste 92%, au fost construite înainte de 1940, perioada când nu existau norme de proiectare seismică pentru construcții. Se remarcă, în mod deosebit, perioada de dinaintea celui de-al doilea război mondial, 1931-1940, care cumulează peste 52% din aceste clădiri. Structura acestor imobile a cunoscut experiența tuturor cutremurelor majore din secolul XX.



Tabel 2.20. Imobile din București încadrate în clasa RSI - pericol public.  
Repartiție după anul de construire și regimul de înălțime.

Perioada Nr. etaje	< 1900	1901- 1910	1911- 1920	1921- 1930	1931- 1940	1941- 1950	1951- 1960	> 1960	Total
1 etaj	6	-	-	-	-	-	-	-	6
2 etaje	13	3	1	1	-	-	-	-	18
3 etaje	10	1	1	3	1	-	-	-	16
4 etaje	5	2	-	1	11	-	-	-	19
5 etaje	2	-	-	8	16	1	-	-	27
6 etaje	2	2	2	3	17	-	-	-	26
7 etaje	-	-	1	6	24	1	-	-	32
8 etaje	-	-	-	2	16	4	-	-	22
9 etaje	-	-	-	1	10	1	2	3	17
10 etaje	-	-	-	-	3	-	1	1	5
>10 etaje	-	-	-	-	2	-	-	-	2
Total	38	8	5	25	100	7	3	4	190

Se evidențiază numărul mare de clădirile înalte, în special cele cu 5, 6 și 7 etaje. Procentul de clădiri înalte, peste 8 etaje, este destul de mic - 46 de imobile, reprezentând aproximativ 24% din totalul clădirilor.

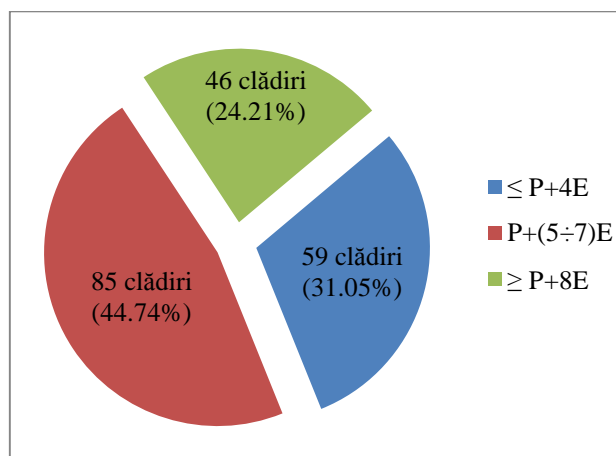


Figura 2.11. Clădiri din București încadrate în clasa RSI - pericol public. Clasificare după regimul de înălțime.

Se observă faptul că cele mai multe clădiri, peste 88%, sunt localizate în primele 3 sectoare, iar în sectorul 6 nu se regăsește nicio clădire care prezintă pericol public din clasa RSI de risc seismic.



Calea Victoriei, nr. 25, S+P+12E  
(Poziția 104 în lista PMB)



Calea Victoriei, nr. 101 A+B,  
S+P+10E  
(Poziția 106 în lista PMB)



Calea Victoriei, nr. 95, P+9E+M  
(Poziția 105 în lista PMB)



B-dul Bălcescu, nr. 32-34, S+P+9E  
(Poziția 71 în lista PMB)



B-dul Magheru, nr. 27, P+8E+M  
(Poziția 39 în lista PMB)



Calea Victoriei, nr. 112, S+P+Mz+8E  
(Poziția 107 în lista PMB)



B-dul Bălcescu, nr. 30,  
S+P+8E+M  
(Poziția 70 în lista PMB)



Calea Victoriei, nr. 214, S+P+8E  
(Poziția 189 în lista PMB)



Calea Victoriei, nr. 2-4, P+8E  
(Poziția 103 în lista PMB)

Figura 2.13. Clădiri înalte din beton armat, construite înainte de 1940, încadrate în clasa RSI - pericol public.

## Clădiri încadrate în clasa RsI de risc seismic

Matricea ce grupează clădirile din București încadrate în clasa RsI atât în funcție de anul de construire, cât și de regimul de înălțime este reprezentată în Tabelul 2.28.

Tabel 2.28. Imobile din București încadrate în clasa RsI.  
Repartiție după anul de construire și regimul de înălțime.

Perioada Nr. etaje	< 1900	1901- 1910	1911- 1920	1921- 1930	1931- 1940	1941- 1950	1951- 1960	Total
Parter	4	1	-	3	1	-	-	9
1 etaj	14	4	2	6	3	1	-	30
2 etaje	22	9	8	9	9	-	-	57
3 etaje	12	4	7	17	26	-	-	66
4 etaje	-	-	1	5	10	-	-	16
5 etaje	-	-	-	-	1	-	-	1
6 etaje	-	-	-	-	1	1	-	2
7 etaje	-	-	1	-	-	-	-	1
8 etaje	-	-	-	-	-	-	1	1
Total	52	18	19	40	51	2	1	183*

\*Numărul total de imobile din București încadrate în clasa de risc seismic RsI este de 184, dar pentru clădirea din str. Crișana, nr. 7, sector 1, având regimul de înălțime (S+P+3E) nu se cunoaște anul construirii.

Se constată faptul că peste 98% dintre aceste clădiri au o vechime de peste 70 de ani, iar mai mult de un sfert dintre ele au peste 110 ani. Se evidențiază cu multe imobile perioada de dinaintea secolului XX și perioada 1920-1940, dar și procentele mari ale imobilelor cu 2 și 3 etaje, dar și cele 9 clădiri cu 1 singur nivel.

Repartiția imobilelor din București încadrate în clasa de risc seismic RsI în funcție de regimul de înălțime este reprezentată în Tabelul 2.31.

Tabel 2.31. Imobile din București încadrate în clasa RsI. Clasificare după regimul de înălțime.

Regim de înălțime	Redus	Mediu	Mare	Total
	$\leq P+4E$	$P+(5\div 7)E$	$\geq P+8E$	
Nr. clădiri	179	4	1	184
%	97.28	2.17	0.54	100

Se observă că majoritatea clădirilor au un regim redus de înălțime, numai un singur imobil având un regim de înălțime de 8 etaje și că cele mai multe clădiri, aproape 85% din numărul total al imobilelor încadrate în clasa de risc seismic RsI, sunt localizate în primele 3 sectoare.

Aceleasi tipuri de clasificari s-au realizat și pentru apartamentele din imobilele clădirilor încadrate în clasa I de risc seismic.

Se observă la foarte multe clădiri dispariția marcajului cu bulină roșie, realizată cel mai probabil de proprietari sau utilizatori pentru a ascunde starea de degradare a imobilului în vederea obținerii unor beneficii. Este și cazul clădirilor din Centrul Civic al Bucureștiului, în care, de cele mai multe ori se desfășoară activități comerciale la parterul acestor imobile.

Un alt aspect important îl reprezintă faptul că legislația aflată în vigoare nu permite asigurarea locuințelor decât după finalizarea lucrărilor de consolidare.



Str. Lipscani, nr. 48-50, S+P  
(Poziția 85 în lista PMB)



Str. Calomfirescu 12, nr. 27, S+P+Ma  
(Poziția 134 în lista PMB)



Str. Calomfirescu 10, nr. 214,  
S+P+1E+Ma (Poziția 133 în lista PMB)



Str. Bălcești, nr. 9, P+M (Poziția 7 în lista PMB)

Figura 2.28. Clădiri de înălțime redusă, încadrate în clasa RsI de risc seismic.

Situația este mult mai complicată în cazul blocurilor înalte cu multe apartamente: execuția lucrărilor de consolidare, de cele mai multe ori, este împiedicată de refuzul proprietarilor de a evacua apartamentul pe durata desfășurării acestor lucrări, iar autoritățile locale nu dispun de locații similare pentru mutarea tuturor locatarilor pe perioada respectivă.

O situație interesantă se regăsește în cazul clădirilor înalte din zona centrală a Bucureștiului, care adăpostesc la parter și etajele inferioare spații publice mari: săli de teatre și cinematografe. Dacă se consideră numărul de persoane posibil expuse hazardului seismic, aceste imobile trebuie încadrate cel puțin în clasa a II-a de importanță-expunere.

Tabel 2.42. Imobile cu spații publice mari la parter, încadrate în clase de risc seismic.

Funcțiune	Capacitate sală	Adresă imobil		An construire	Regim de înălțime	Clasa de risc seismic
		Adresă	Nr.			
Cinema Patria	1014	B-dul Magheru	12-14	1929	P+7÷9E	RsI - pericol public
Cinema Scala	870	B-dul Magheru	2-4	1938	S+P+7E	RsII
Teatrul Notarra	584	B-dul Magheru	20	1946	P+9E	RsI - pericol public
Cinema Pro	541	Str. Ion Ghica	3	1938	P+8E	RsI - pericol public
Cinema Studio	380	B-dul Magheru	29	1945	2S+P+M+7E +Ma	RsI - pericol public

Într-adevăr, nu pot fi comparate din punct de vedere al riscului seismic, clădiri joase (parter și etaj), locuite de o singură familie, clădiri în stare avansată de degradare sau aproape de prăbușire, cu clădiri înalte, în care se găsesc sute de apartamente sau imobile cu funcțiuni de mare importanță pentru comunitate.

Prin urmare, este nevoie de o nouă clasificare și încadrare în clase de risc seismic a imobilelor vulnerabile seismic, după proceduri clare și bine stabilite, și anume: clasa de vulnerabilitate, clasa de importanță-expunere la cutremur, tipologia structurală și clasa de risc seismic.

## **2.5. Reabilitare termică vs. reabilitare seismică**

În condițiile îmbătrânirii fondului construit și a majorării alarmante a costurilor de întreținere, sporirea confortului în locuințe și diminuarea pierderilor de căldură au devenit obiective realiste și urgente.

Multe din clădirile incluse în cadrul programului de reabilitare termică, construite în perioada 1950-1990 și în special înainte de 1977, sunt considerate a fi vulnerabile la solicitări seismice, fiind încadrate în clase de risc seismic, la care conformarea structurală generală și de detaliu nu respectă prevederile în vigoare referitoare la siguranța seismică a clădirilor. Aceste clădiri au fost proiectate pe baza prevederilor unor norme de proiectare necorespunzătoare pentru cutremurele de tip Vrancea. Intervenția la anvelopa clădirii pentru îmbunătățirea termoizolației se poate efectua numai după consolidarea acestora conform prevederilor în vigoare.

Prioritatea de investiții în programe naționale ar trebui să cuprindă mai întâi consolidarea imobilelor considerate vulnerabile și de pericol public și ulterior reabilitarea termică, sau ca o variantă alternativă în cadrul proiectelor de consolidare seismică să fie cuprinse și lucrările de intervenție în vederea creșterii performanței energetice a clădirilor de locuit.

## **2.6. Patrimoniul istoric și de arhitectură**

Patrimoniul construit al României este reprezentat nu numai de clădiri individuale - ci și de o îmbinare consistentă din care acestea fac parte: instituții, ansambluri, centre istorice, cu străzi, piețe și parcuri, vestigii arheologice, vecinătăți caracteristice, constituind adevărate peisaje cu așezări urbane și rurale.

Protejarea patrimoniului construit și cultural reprezintă o povară grea în condiții de creștere economică, de necesitate de dezvoltare urbană (de cele mai multe ori necontrolată) și de accentuare a investițiilor imobiliare. Sub pretextul încurajării dezvoltării și cu permisivitatea legislației se poate ajunge la o pierdere irecuperabilă a patrimoniului cultural-istoric.

## **3. Evaluarea vulnerabilității seismice**

Vulnerabilitatea seismică exprimă în termeni probabilistici sau statistici, o măsură a evaluării comportării unei construcții în timpul unui cutremur.

### **3.1. Factori care influențează vulnerabilitatea seismică**

Cele mai multe studii referitoare la avariile provocate de acțiunea seismică au arătat că tipul de sistem structural utilizat reprezintă cel mai important factor care influențează eventualele daune cauzate de cutremur. Un alt aspect destul de relevant care afectează

vulnerabilitatea seismică este definirea perioadei de construcție a structurii analizate și mai ales a normelor de proiectare și execuție luate în considerare la momentul realizării construcției. În continuare se prezintă diferiți factori care pot influența performanța seismică a construcțiilor și prin urmare și vulnerabilitatea seismică.

### **3.2. Clasificarea metodelor de evaluare a vulnerabilității**

Literatura științifică actuală prevede o clasificare comună a metodelor care au fost folosite până în prezent pentru a evalua vulnerabilitatea seismică:

- metode empirice sau statistice;
- metode analitice sau mecanice;
- metode hibride sau mixte.

Pe scară largă, se utilizează abordările bazate pe metodologii empirice care constau în evaluarea vulnerabilității prin prisma observațiilor asupra distribuțiilor statistice de avarii cauzate de cutremurele anterioare. La nivel local, evaluarea vulnerabilității se face pe bază analitică prin considerarea caracteristicilor structurale individuale, condițiilor locale de teren ale amplasamentului și utilizând analize numerice detaliate. Metodele hibride combină ambele metode empirice și analitice.

#### **3.2.1. Metode empirice**

Metodele empirice se bazează pe datele statistice ale evenimentelor reale, procesând direct observațiile avariilor structurale cauzate de cutremurele anterioare și evaluând consecințele avariilor asupra construcțiilor afectate. Metodele empirice de evaluare a vulnerabilității au evoluat odată cu dezvoltarea scârilor de intensități seismice, exprimând astfel în mod direct relația dintre avarii și mișcarea terenului.

Există două metode empirice binecunoscute și utilizate în mod obișnuit: matricele de avariere probabilă și funcțiile de vulnerabilitate.

#### **3.2.2. Metode analitice**

Abordările analitice sau mecanice se bazează pe evaluarea numerică a probabilității ca structurile existente să fie afectate de un cutremur, oferind o evaluare științifică precisă a comportamentului clădirilor în cazul acțiunilor seismice. Aceste metodologii folosesc curbele de vulnerabilitate, în general, provenite din analize numerice efectuate pe modele structurale simplificate sau detaliate, și sunt utilizate de preferință la scară locală, în cazul zonelor mari de studiu fiind implicit necesar un efort de calcul substanțial. În funcție de procedeul utilizat se pot clasifica în:

- Curbe de vulnerabilitate și matrice de avariere analitice;
- Metode bazate pe mecanisme de prăbușire;
- Metode bazate pe performanță;
- Metode bazate pe deplasare;
- Metoda spectrului de capacitate.

### 3.2.3. Metode mixte

Aceste abordări hibride combină diferite proceduri de evaluare a vulnerabilității: analitice, opiniile experților, curbe de vulnerabilitate, matrice de avariere și calcule simplificate, atribuind punctaje deficiențelor structurale ale construcțiilor. Cele mai semnificative utilizează indicii de vulnerabilitate sau metodele de scanare.

### 3.2.4. Metode aplicate și aplicabile în România

În România, până în acest moment, cele mai multe evaluări ale vulnerabilității clădirilor existente s-au efectuat prin metode observaționale, prin prisma opiniei experților tehnici autorizați, solicitați să furnizeze estimări independente ale nivelului probabil de daune suferit de o anumită construcție la o acțiune seismică specifică. Adeseori, datele statistice privind avariile observate sunt completate și cu calcule de rezistență.

Evaluarea performanței seismice a structurilor existente din România este reglementată prin *P100-3/2008: Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic. Volumul 1 - Evaluare* [93]. Acest cod urmărește să stabilească dacă construcțiile existente satisfac cu un grad adecvat de siguranță cerințele fundamentale (nivelurile de performanță) avute în vedere la proiectarea construcțiilor noi, conform P100-1:2006 [92], neavând aplicabilitate pentru evaluarea seismică a monumentelor și a clădirilor istorice care solicită abordări și tipuri de prevederi specifice.

Evaluarea seismică a structurilor de clădiri se compune dintr-un ansamblu de operații care trebuie să stabilească vulnerabilitatea acestora în raport cu natura și modul de manifestare al diferitelor categorii de hazard seismic pe amplasament. Evaluarea este precedată de colectarea informațiilor referitoare la geometria structurii, calitatea detaliilor constructive și a calității materialelor utilizate în construcție. Codul urmărește evaluarea construcțiilor individuale, pentru a decide necesitatea intervenției structurale și măsurile de consolidare necesare pentru o anumită construcție [93]. Evaluarea seismică se finalizează cu încadrarea construcției în clase de risc seismic.

## 4. Studiu de vulnerabilitate seismică privind unele clădiri existente din București

În cadrul acestui studiu de caz se va realiza o analiză a vulnerabilității fondului construit existent prin obținerea funcțiilor de fragilitate ale unor clădiri din București. S-au ales 3 clădiri, de înălțimi ridicate având sistemul structural compus din cadre de beton armat și zidărie de umplură. Scopul studiului va consta în compararea deplasărilor spectrale așteptate ale clădirilor și a probabilităților structurilor de a se afla într-un anumit nivel de degradare sau a depăși această limită de avariere, urmărindu-se astfel evoluția și îmbunătățirea continuă a codurilor de proiectare antiseismică din România în ultimii zeci de ani.

### 4.1. Descrierea metodei alese

Metodologia de evaluare a vulnerabilității seismice a clădirilor existente a fost selectată metodologia HAZUS MH-MR5 [49], probabil, una dintre cele mai utilizate metode la nivel global.

## 4.2. Studiu de caz pentru structuri din cadre de beton armat

Tabel 4.3. Structuri analizate din cadre de beton armat

Clădire	Înălțime		An de construire	HAZUS		Codificare
				Cod	Nivel cod	
Colentina	35.3 m	S+P+11S	1976	P13-70	Inferior	C1H_LC
Calea Moșilor	32.0 m	S+P+10S	1981	P100-78	Moderat	C1H_MC
Băneasa	29.2 m	S+P+8S	2008	P100-2006	Avansat	C1H_HC

Valorile parametrilor  $S_{d,ds}$  și  $\beta_{ds}$  utilizați pentru obținerea funcțiilor de fragilitate au fost calculați din două documente diferite: HAZUS [49] și Văcăreanu et al. [116], document elaborat în cadrul Proiectului JICA de Cooperare Tehnică „Reducerea Riscului Seismic pentru Clădiri și Structuri”, desfășurat de Centrul Național de Reducere a Riscului Seismic, CNRRS. Astfel, s-au obținut câte două serii de funcții de fragilitate pentru fiecare structură.

Valorile probabilităților de a se afla într-o anumită stare de degradare trebuie privite ca valori relative care să permită anumite comparații între clădirile studiate. Starea de avariere *Completă* nu înseamnă neapărat colaps, ci descrie pierderea stabilității cadrului datorită cedării elementelor fragile și astfel o structură nereparabilă/demolabilă și/sau colaps.

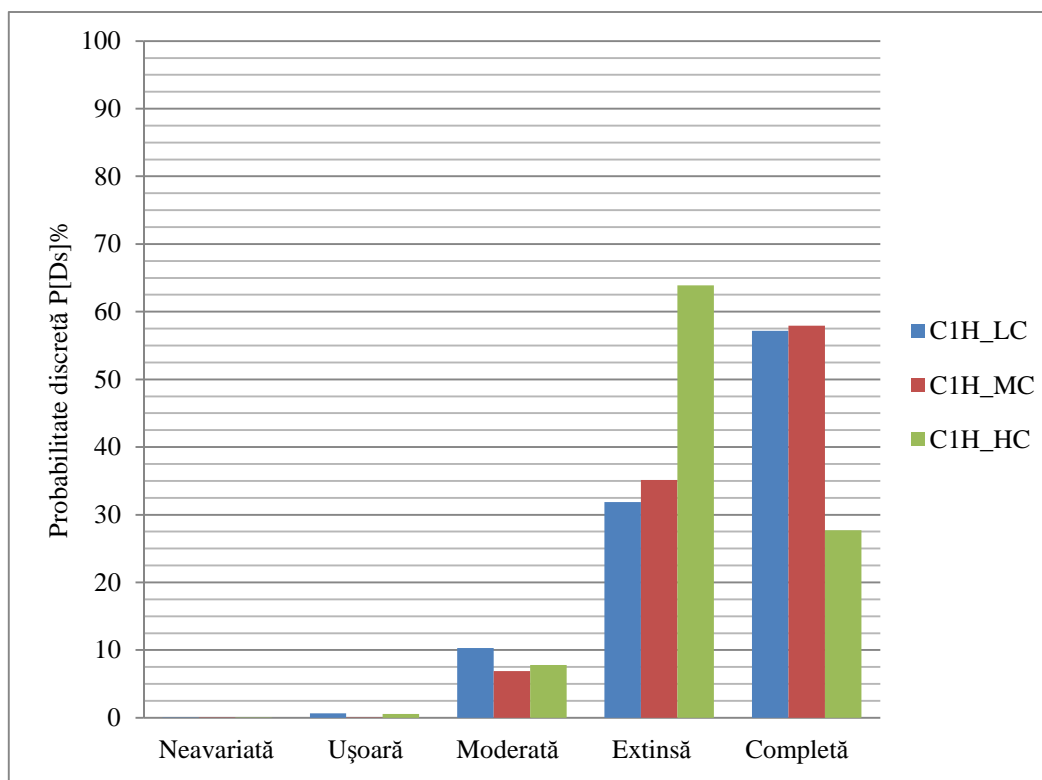


Figura 4.16. Probabilitățile clădirilor analizate de a fi într-o stare discretă de avariere, calculate conform metodologiei HAZUS



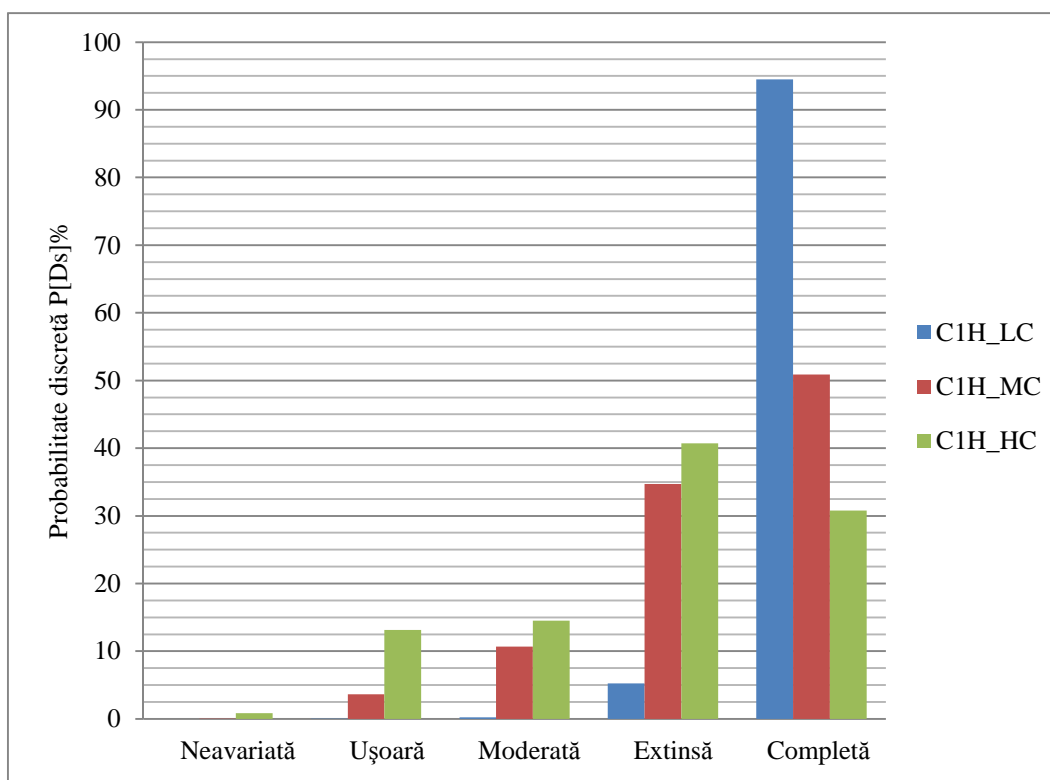


Figura 4.17. Probabilitățile clădirilor analizate de a fi într-o stare discretă de avariere, calculate conform proiectului JICA

Studiul de caz este supus la incertitudini suplimentare cu privire la stările de avariere în care se vor afla clădirile după un eveniment seismic. Analizele push-over nu au luat în considerare degradarea structurală a clădirilor produsă de cutremurele precedente și eventualele consolidări ale structurilor. Clădirea de cod inferior, C1H\_LC, construită în 1976 a fost analizată în raport cu un eveniment seismic (spectrul de cerințe provenit de la cutremurul din 1977), pe care în mod real l-a și experimentat.

Metodologia HAZUS este calibrată pentru tipologiile structurale ale clădirilor din Statele Unite ale Americii, dar poate fi utilizată cu unele limitări și în România, fiind un mijloc eficient de evaluare a vulnerabilității seismice a clădirilor existente.

## 5. Concluzii și contribuții personale

Subiectul tezei de doctorat este de interes public întrucât evaluarea vulnerabilității seismice a fondului construit reprezintă o prioritate în vederea diminuării eventualelor pagube și a punerii în siguranță a clădirilor potențial vulnerabile.

Hazardul seismic din România este dominat de influența sursei seismice Vrancea, cea mai activă zonă epicentrală, sursă a numeroase cutremure distrugătoare de-a lungul timpului. Cu o populație de aproape 2 milioane de locuitori și situat la o distanță de numai 170 km de sursa seismică Vrancea, Bucureștiul este considerat a fi orașul cu cel mai mare risc seismic din Europa.

Pentru o evaluare cât mai obiectivă a riscului seismic, este necesar a se cunoaște efectele cutremurelor anterioare, dar și comportarea diferitelor tipologii structurale, mai ales pentru clădirile de locuit.

Publicarea Listei Clădirilor de Locuit Expertizate Tehnic urmărește informarea populației pentru conștientizarea riscului seismic la care este supusă, în scopul realizării

priorităților de consolidare și de punere în siguranță a locatarilor din construcțiile cu probleme grave la structura de rezistență.

Încadrarea în aceeași clasă I de risc seismic a clădirilor de înălțimi și tipologii structurale diferite, clase importanță-expunere și de vulnerabilitate distincte, cu funcțiuni de importanță diferită pentru comunitate și, cel mai important aspect, număr al populației expuse total diferit, reprezintă o neconcordanță a politicii naționale de reducere a riscului seismic cu conceptele științifice: hazard, vulnerabilitate, expunere și risc seismic.

Prioritatea de investiții în programe naționale ar trebui să cuprindă mai întâi consolidarea imobilelor considerate vulnerabile și ulterior reabilitarea termică.

În cadrul studiului de caz s-a realizat o analiză a vulnerabilității fondului construit existent prin obținerea funcțiilor de fragilitate pentru trei clădiri din București, înalte, având sistemul structural compus din cadre de beton armat și zidărie de umplutură, utilizând două abordări diferite: metodologia HAZUS, ce urmărește aplicarea spectrului de capacitate și varianta autohtonă ce calibrează valorile coeficienților din HAZUS. Rezultatele obținute prin metodologia HAZUS au fost comparate cu cele obținute în cadrul Proiectului JICA de Cooperare Tehnică „Reducerea Riscului Seismic pentru Clădiri și Structuri”, desfășurat de Centrul Național de Reducere a Riscului Seismic.

Pe parcursul elaborării lucrării de doctorat, autorul a urmărit aprofundarea cunoștințelor în domeniul ingineriei seismice și siguranței construcțiilor, considerând drept contribuții personale următoarele:

- ✓ studiul impactului regional al cutremurelor Vranceane;
- ✓ realizarea curbelor de fragilitate pentru trei structuri înalte proiectate după trei generații distincte de coduri ;
- ✓ caracterizarea fondului construit existent prin raportare la numărul clădirilor, locuințelor și populației, perioadele de construire, clasele de importanță-expunere, evoluția codurilor de proiectare seismică, tipologii structurale;
- ✓ clasificarea clădirilor expertizate din București și încadrate în clasa I de risc seismic în funcție de regimul de înălțime, anul construirii, sectorul de care aparțin și analiza situației clădirilor din Centrul Istoric;
- ✓ clasificarea apartamentelor din clădirile expertizate din București și încadrate în clasa I de risc seismic în funcție de regimul de înălțime, anul construirii, sectorul de care aparțin;
- ✓ considerarea ca imperfectă a actualei strategii de încadrare în clase de risc seismic și recomandarea realizării cu prioritate în funcție de: clasa de vulnerabilitate, clasa de importanță-expunere la cutremur și clasa de risc seismic;
- ✓ prezentarea unor aspecte privind reabilitarea seismică în detrimentul celei termice.

Conținutul și rezultatele tezei de doctorat oferă posibilitatea dezvoltării cunoașterii în următoarele direcții de cercetare:

- realizarea unui program național de punere în siguranță a populației expuse din fondului imobiliar vulnerabil seismic;
- stabilirea unei direcții de accelerare a consolidării imediate a tuturor clădirilor cu risc seismic;
- introducerea unei noi metode de clasificare și încadrare în clase de risc seismic a imobilelor vulnerabile seismic;

- dezvoltarea unor noi metode de evaluare a vulnerabilității seismice a clădirilor existente adaptate regimului seismic și fondului construit din România.

## **Bibliografie selectivă**

5. Applied Technology Council - ATC-40: Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Redwood City, 1996;
17. Bică, A. - Imobile din București, expertizate tehnic și încadrate în clasa I de risc seismic, UTCB, Buletinul Științific, nr. 3, septembrie, 2013;
25. Calvi, G.M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J. J., Restrepo, Vélez, L.F., Crowley, H. - The development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years, ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 472, Vol. 43, No. 3, pp. 75-104, 2006;
32. Computers and Structures - SAP2000 v15.0, Structural and earthquake engineering software, 2012;
41. Dubină, D., Lungu, D. - Construcții amplasate în zone cu mișcări seismice puternice, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2003;
49. Federal Emergency Management Agency - HAZUS-MH MR5 Technical & User Manual, Washington D.C., 2010;
74. Lungu, D., Aldea A., Arion C., Văcăreanu, R. - Cutremure istorice majore în România, Revista Monumentelor Istorice, Nr. L XXVI, pp. 96-100, București, 2007;
80. Lungu, D., Cornea, T., Aldea, A., Zaicenco, A. - Reprezentarea de bază a acțiunii seismice. În: Calculul structurilor în zone seismice: Eurocod 8 - Exemple de calcul, Proiect TEMPUS PHARE 01198, Editori: D. Lungu, F. Mazzolani, S. Savidis, Editura Bridgeman, Timișoara, 1997;
81. Lungu, D., Văcăreanu, R., Aldea, A., Arion, C. - Advanced Structural Analysis, Editura Conspress, București, 2000;
87. Ministerul Culturii - Lista Monumentelor Istorice, <http://www.cultura.abt.ro/Files/GenericFiles/LMI-2010.pdf>
89. Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice - <http://www.mdrt.ro/constructii/siguranta-post-seism-a-cladirilor/programe-de-prevenire-a-riscului-seismic>;
93. MTCT - P100-3/2008: Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic Vol. 1 - Evaluare, București, 2008;
106. Primăria Municipiului București - Lista clădirilor de locuit expertizate tehnic, [http://www.pmb.ro/servicii/alte\\_informatii/listaimobilelor\\_exp/docs/Lista\\_imobilelor\\_expertizate.pdf](http://www.pmb.ro/servicii/alte_informatii/listaimobilelor_exp/docs/Lista_imobilelor_expertizate.pdf), 2013;
114. Văcăreanu, R., Aldea, A., Lungu, D. - Structural reliability and risk analysis, București, UTCB, 2007;
115. Văcăreanu, R., Lungu, D., Arion, C. - Capacity curves and fragility functions for representative buildings types in Bucharest, A 4-a Conferința Națională de Inginerie Seismică, Vol. I, pp. 183-192, decembrie 2009;
116. Văcăreanu, R., Postelnicu, T., Popa, V., Coțofană, D., Cheșca, B. - Study on early earthquake damage evaluation of existing buildings in Bucharest, Romania, The JICA Technical Cooperation Project in Romania, UTCB, București, 2006;