

RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL

Contract PN-II-RU-TE-2014-4-0697

COBPEE

COMMUNITY BASED PERFORMANCE EARTHQUAKE ENGINEERING

Autori:

Ș.I. dr. ing. Florin Pavel – director proiect

Asist. dr. ing. Ileana Calotescu

Drd. ing. Ana-Maria Săndulescu

Drd. ing. Horea Sibișteanu

Drd. ing. Ionuț Crăciun

Drd. ing. Veronica Colibă

Prof. univ. dr. ing. Radu Văcăreanu

București

Septembrie 2017

Raport Științific Final
Contract PN-II-RU-TE-2014-4-0697

Cuprins

Introducere	4
Activitatea 1 - Evaluarea metodelor de simulare stochastică a mișcării seismice pentru municipiul București. Evaluarea efectelor neliniare ale terenului în cazul mișcărilor seismice puternice din sursa seismică Vrancea.....	5
1.1 <i>Evaluarea parametrilor de input pentru simulări stochastice.....</i>	5
1.2 <i>Comparații între simulările stochastice cu surse punctuale și cele cu surse de tip falie.....</i>	5
1.3 <i>Investigarea efectelor neliniare ale terenului din București</i>	6
Activitatea 2 – Pregătirea informațiilor de input pentru sondaj	9
2.1 <i>Date preliminare referitoare la structura populației din municipiul București, necesare pentru sondajul de opinie efectuat în Etapa 2</i>	9
Activitatea 3 - Efectuarea unui sondaj de opinie pe scară largă pe populația din municipiul București, precum și evaluarea rezultatelor acestuia.....	11
3.1 <i>Sondaj la scară largă efectuat pe populația din București</i>	11
3.2 <i>Evaluarea rezultatelor sondajului.....</i>	12
Activitatea 4 - Derivarea scenariilor de cutremur din sursa Vrancea pentru municipiul București.....	18
4.1 <i>Evaluarea simulărilor stochastice folosind mișcări seismice înregistrate în București</i>	18
4.2 <i>Derivarea scenariilor de cutremur din sursa seismică Vrancea</i>	20
Activitatea 5 - Derivarea parametrilor de performanță ai comunității	22
5.1 <i>Stabilirea unei legături între parametrii de performanță ai comunității și comportarea materialelor de construcții/structurilor</i>	22
5.2 <i>Derivarea parametrilor de performanță ai comunității</i>	23
5.3 <i>Analiza de risc seismic pentru municipiul București</i>	24
Activitatea 6 - Derivarea obiectivelor de performanță ale comunității	32
6.1 <i>Derivarea obiectivelor de performanță ale comunității pe baza parametrilor de performanță</i>	32
6.2 <i>Comparații între obiectivele de performanță ale comunității și obiectivele de performanță din codurile de proiectare seismice actual.....</i>	33
Activitatea 7 – Evaluarea răspunsului seismic pentru construcții noi	36
7.1 <i>Evaluarea răspunsului seismic ale unor structuri noi din metal și din beton armat la acțiunea cutremurelor vrâncene.....</i>	36
Activitatea 8 - Impactul obiectivelor de performanță ale comunității asupra construcțiilor noi	41

<i>8.1 Impactul obiectivelor de performanță ale comunității asupra proiectării structurilor noi din metal și beton armat.....</i>	<i>41</i>
Activitatea 9 - Diseminarea rezultatelor la conferințe si in reviste tehnice naționale sau internaționale. Diseminarea rezultatelor prin pagina web a proiectului	43
Concluzii.....	47
Referințe	51

Introducere

Proiectul național de cercetare COBPEE (Community Based Performance Earthquake Engineering) a fost finanțat de un grant al CNCS – UEFISCDI, proiect nr. PN-II-RU-TE-2014-4-0697 și s-a desfășurat în perioada octombrie 2015 – septembrie 2017. Acest proiect de cercetare a vizat în principal stabilirea unei relații între nivelul așteptărilor populației referitor la gradul de siguranță al clădirilor în care locuiesc și performanța structurală a clădirilor existente așa cum reiese din analiza de risc seismic. Așteptările populației referitoare la comportarea structurilor și nivelul de avariere al acestora, precum și alte aspecte referitoare la nivelul de pregătire al populației în caz de cutremur precum și nivelul de conștientizare al riscului seismic au fost testate pe baza rezultatelor unui sondaj efectuat pe un eșantion de 1000 de locuitori din București. În final, s-a realizat o comparație dintre rezultatele sondajului și rezultatele unor analize complexe de risc și reziliență seismică. În cele ce urmează, sunt ilustrate câteva dintre cele mai importante obținute în cadrul acestui proiect structurate în nouă activități principale, precum și concluziile și cele mai importante observații rezultate din acesta.

Activitatea 1 - Evaluarea metodelor de simulare stohastică a mișcării seismice pentru municipiul București. Evaluarea efectelor neliniare ale terenului în cazul mișcărilor seismice puternice din sursa seismică Vrancea

1.1 Evaluarea parametrilor de input pentru simulări stohastice

Evaluarea parametrilor de input necesari în cadrul simulărilor stohastice ale mișcărilor seismice a fost efectuată folosind două metode din literatură, și anume o modelare punctuală a sursei seismice (programul SMSIM dezvoltat de către Boore, 2005) și o modelare de tip suprafață a sursei seismice (programul EXSIM dezvoltat de către Motazedian și Atkinson, 2005). Printre parametrii evaluați se numără: unghiul de strike, unghiul de dip, căderea de tensiune, raportul dintre viteza de rupere și viteza undelor de forfecare din apropierea sursei seismice, precum și procentul de subfalii active. O primă serie de rezultate este ilustrată în Figura 1.1.

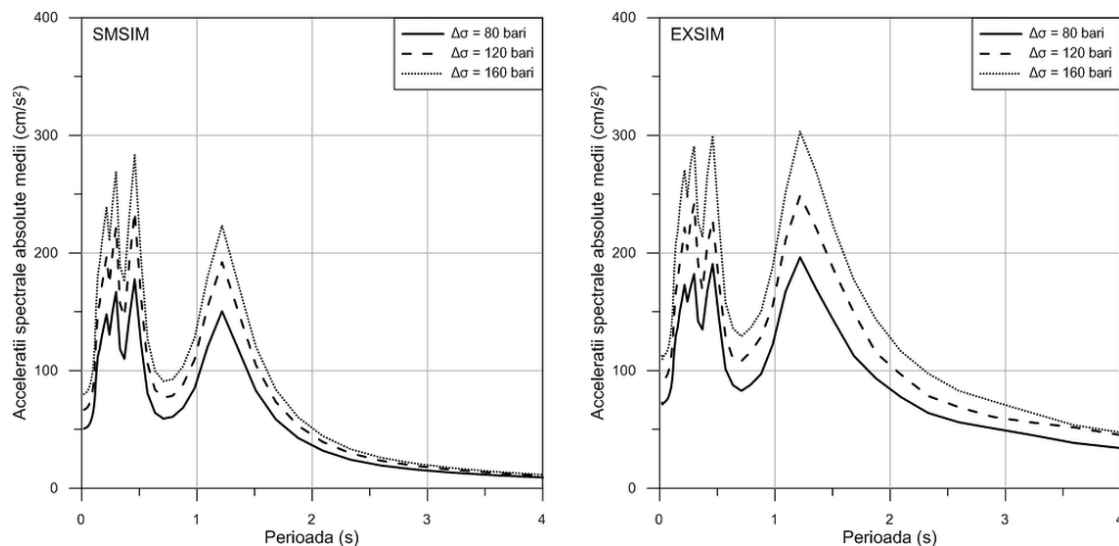


Figura 1.1 Spectre medii de accelerații absolute calculate folosind programul SMSIM (stânga) și EXSIM (dreapta) pentru trei valori ale căderii de tensiune ($\Delta\sigma = 80$ bari, 120 bari și 160 bari)

1.2 Comparații între simulările stohastice cu surse punctuale și cele cu surse de tip falie

O altă serie de simulări stohastice au fost efectuate pentru a evidenția influența magnitudinii și a distanței sursă – amplasament asupra formelor spectrale. În general, simulările au evidențiat valori spectrale mai mari obținute din programul EXSIM (Motazedian și Atkinson, 2005), precum și valori mai mici ale factorului de amplificare dinamică (Fig. 1.2 și Fig. 1.3).

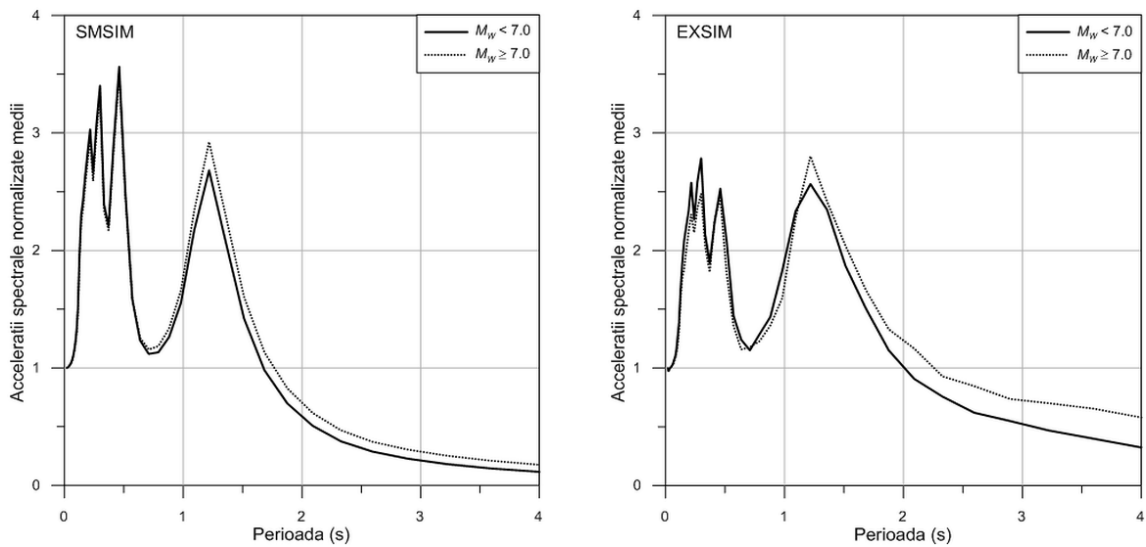


Figura 1.2 Comparații între spectrele medii de accelerații normalizate calculate folosind programele SMSIM și EXSIM pentru $M_w < 7,0$ (stânga) și $M_w \geq 7,0$ (dreapta)

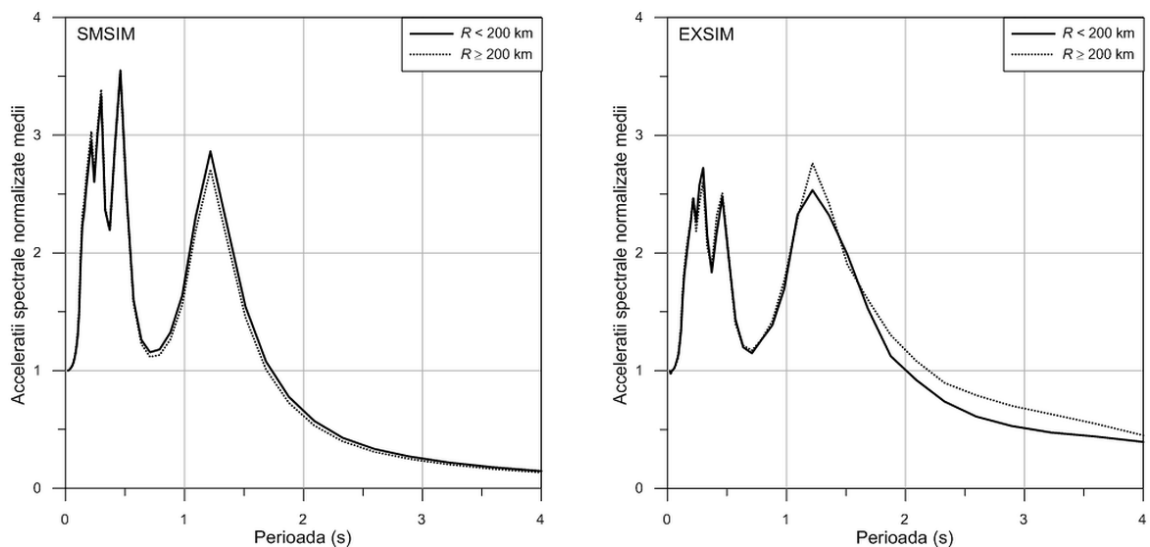


Figura 1.3 Comparații între spectrele medii de accelerații normalizate calculate folosind programele SMSIM și EXSIM pentru $R < 200$ km (stânga) și $R \geq 200$ km (dreapta)

1.3 Investigarea efectelor neliniare ale terenului din București

Cele mai importante observații rezultate din analizele stocahstice efectuate sunt:

- Pentru o cât mai bună evaluare a efectelor neliniare ale terenului așteptate în timpul cutremurelor puternice produse în sursa seismică de adâncime intermediară Vrancea este nevoie de date ce provin din mai multe foraje adânci (de cel puțin 200 m) și care să fie dispuse cât mai uniform pe tot teritoriul municipiului București. În lipsa acestor date, precum și în lipsa unor parametri de input pentru analize mai sofisticate, se poate obține o modelare în general satisfăcătoare a efectelor neliniare ale terenului pe baza datelor colectate în cadrul acestui raport. Totuși, eventualele

amplificări din domeniul de perioade mai lungi de 2,0 s care nu pot fi surprinse utilizând datele din forajele existente și care au fost remarcate de Sandi și Borcia (2011) nu pot fi evaluate în mod corespunzător;

- Variabilitatea cu magnitudinea și perioada spectrală a mișcării seismice simulate cu ajutorul programului EXSIM pare a avea un caracter aleatoriu, în timp ce în cazul programului EXSIM s-a observat o dependență clară a rezultatelor de perioada spectrală;
- Influența considerabilă a magnitudinii asupra variabilității simulărilor a fost evidențiată prin calculul „abatere standard pentru o singură stație”;
- Simulările calculate pe baza factorilor de amplificare (funcțiile de transfer) obținute prin metoda impedanței par a se apropia mai mult de spectrele mediane rezultate și din relațiile de atenuare, în timp ce simulările pe baza amplificărilor din programul NRATTLE sunt mai apropiate de spectre individuale. Având în vedere aceste rezultate, în continuare, în cadrul fazelor viitoare ale proiectului, pentru o cât mai bună evaluare a mișcării seismice pentru București se vor folosi ambele tipuri de amplificări (atât cele rezultate din metoda impedanței, cât și cele calculate cu programul NRATTLE);
- Programul de simulare stochastică EXSIM (Motazedian și Atkinson, 2005) este programul care oferă simulări ale mișcării seismice mai apropiate de cele reale înregistrate în București în timpul cutremurelor vrâncene. Având în vedere și faptul că acest program permite luarea în calcul a mai multor parametri care ar putea influența caracteristicile mișcării seismice pe amplasament, este evident că programul EXSIM va fi folosit și în continuare în cadrul acestui proiect pentru evaluarea amplitudinilor mișcării seismice din București în diferite scenarii de cutremur.

Pentru a valida rezultatele simulărilor stochastice, s-au comparat în Figura 1.4 spectrele medii de accelerații normalizate observate în București la cutremurele vrâncene din august 1986 ($M_W = 7,1$, $h = 131$ km) și mai 1990 ($M_W = 6,9$, $h = 91$ km) cu cele simulate în programul EXSIM pentru cutremure având magnitudini similare și distanțe epicentrale comparabile. Se poate observa faptul că cele două spectre medii de accelerații normalizate sunt destul de apropiate în cazul cutremurului din august 1986, mai ales pentru perioade scurte și medii. Diferențe mai mari între spectrele observate și cele simulate apar pentru evenimentul seismic din mai 1990, în special în domeniul de perioade lungi.

Valorile maxime ale accelerațiilor normalizate calculate din simulările stochastice cu programul EXSIM și folosind amplificările rezultate din metoda impedanței pentru trei foraje (Piața Victoriei – VIC1, Otopeni – OTP și INCERC – INC) sunt comparate în Figura 1.5 cu spectrul normalizat de accelerații de proiectare din codul P100-1/2013 (2013). Compararea arată faptul că accelerațiile normalizate maxime simulate sunt mai mari decât cele de cod pentru domeniul de perioade scurte, în timp ce pentru perioade mai mari decât 2,0 s există o potrivire foarte bună între cele două categorii de spectre.

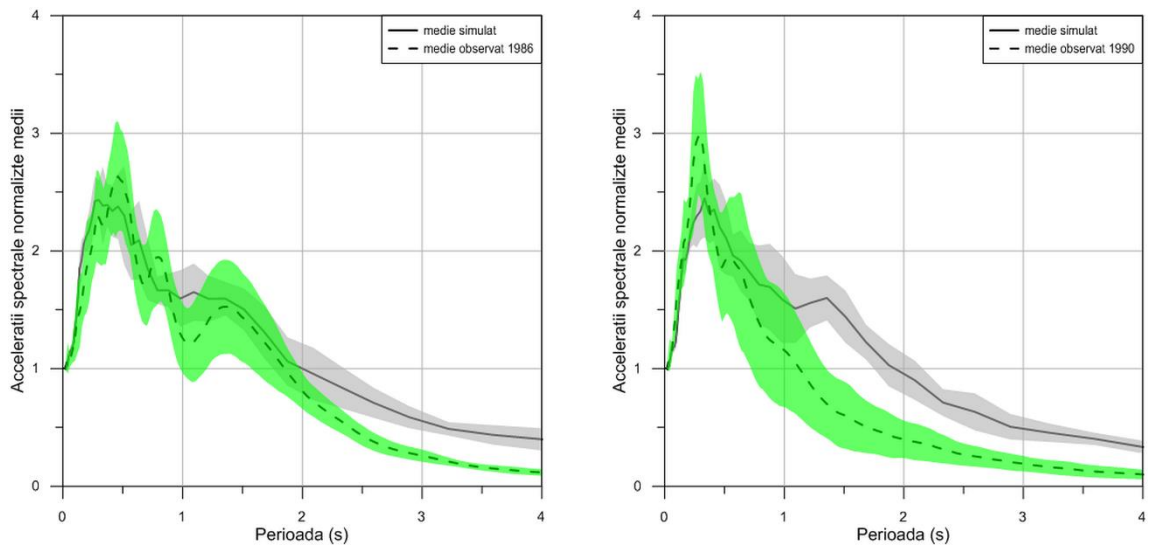


Figura 1.4 Comparație între spectrele de accelerații normalizate observate la cutremurele din august 1986 (stânga) și mai 1990 (dreapta) și spectrele simulate folosind programul EXSIM. Cu gri și respectiv verde este reprezentat domeniul de valori cuprins între valoarea medie \pm o abatere standard.

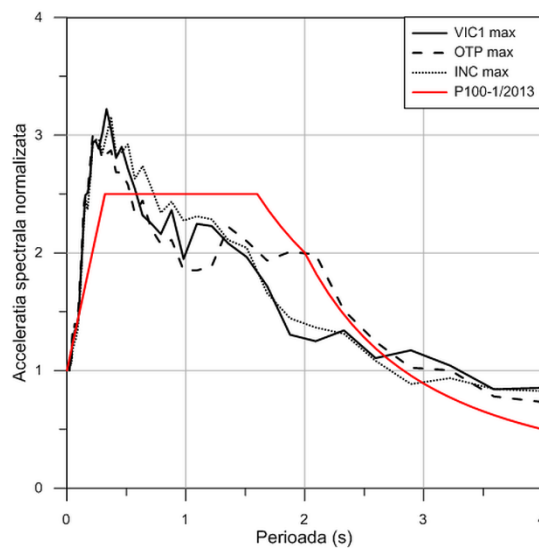


Figura 1.5 Comparație între accelerațiile spectrale normalizate maxime simulate cu programul EXSIM pentru trei foraje adânci (VIC1, OTP, INC) și spectrul normalizat de accelerații din codul de proiectare seismică P100-1/2013 (2013)

Activitatea 2 – Pregătirea informațiilor de input pentru sondaj

2.1 Date preliminare referitoare la structura populației din municipiul București, necesare pentru sondajul de opinie efectuat în Etapa 2

Informațiile privind populația stabilă (rezidentă) din regiunea București – Ilfov au fost preluate și prelucrate pe baza rezultatelor Recensământului Populației și al Locuințelor 2011, realizat de Institutul Național de Statistică din România (INS, 2013), din datele furnizate de Eurostat - Centrul de statistică al Uniunii Europene (EUROSTAT, 2015) și din cele furnizate de Primăria municipiului București (PMB, 2015).

Capitala țării adăpostește un număr de 1.883.425 de locuitori, conform rezultatelor Recensământului Populației și al Locuințelor 2011 (INS, 2013), distribuiți în șase sectoare pe o suprafață de aproximativ 228 km², rezultând astfel o densitate de aproximativ 8.260 persoane/km². Distribuția populației stabile din București pe sectoare este ilustrată în Figura 2.1. În Figura 2.2 este prezentată distribuția populației după nivelul de instruire absolvit.

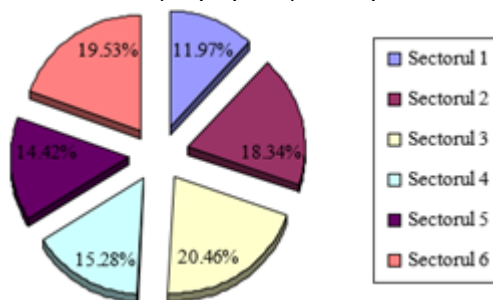


Figura 2.1 Distribuția populației stabile pe sectoare

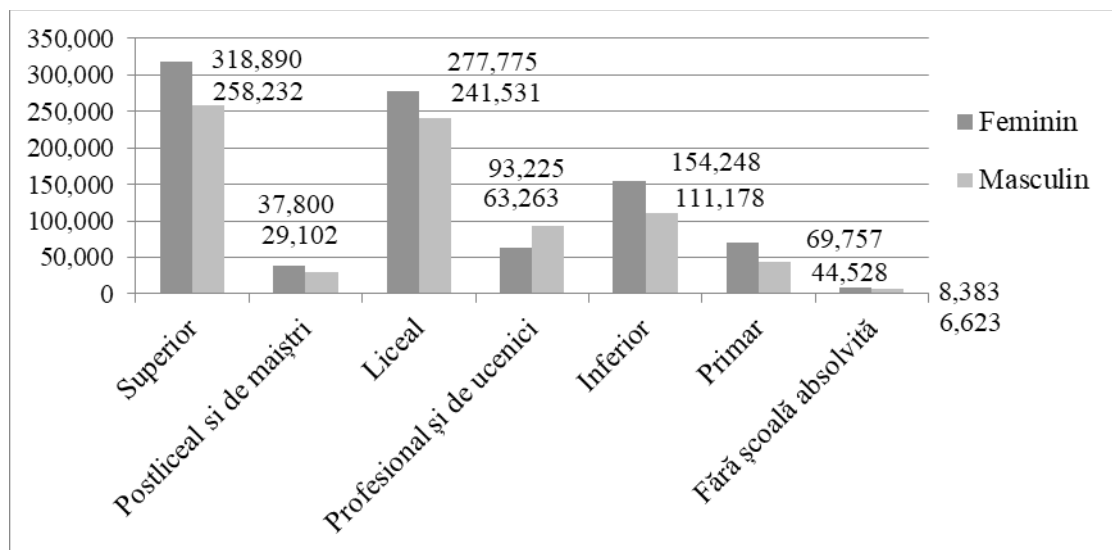


Figura 2.2 Distribuția populației stabile după nivelul de instruire absolvit

Din totalul populației stabile din municipiul București de 1.883.425 persoane, populația activă abia depășea în anul 2011 un procent de 50,95%, însumând doar 959.532 de persoane. În rândul celei inactive, pensionarii aveau o pondere de 48,92%, elevii și studenții formau un

procent de doar 26,75%, restul de 24,32% fiind persoane casnice, întreținute sau aflate în alte situații. Rezultatele acestei analize sunt rezumate în Tabel 2.1 și Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Populația stabilă inactivă și activă pe sexe

Populația stabilă inactivă și activă	Masculin	Feminin	Total
Pensionari	162.226	289.771	451.997
Elevi, studenți	122.625	124.560	247.185
Alte persoane inactice	88.800	135.911	224.711
Total populație inactivă	373.651	550.242	923.893
Populația ocupată	458.821	434.680	893.501
Șomeri in căutarea unui loc de muncă	27.708	19.110	46.818
Șomeri in căutarea primului loc de muncă	11.350	7.863	19.213
Total populație activă	497.879	461.653	959.532

Tabel 2.2 Populația stabilă activă ocupată pe sexe și grupe de ocupații

Grupe majore de ocupații	Masculin	Feminin	Total
Membri ai corpului legislativ, ai executivului, înalți conducători ai administrației publice, conducători și funcționari superiori	29.961	24.137	54.098
Specialiști în diverse domenii de activitate	122.003	165.546	287.549
Tehnicienii și alți specialiști din domeniul tehnic	70.843	694.68	140.311
Funcționari administrativi	24.694	39.175	63.869
Lucrători în domeniul serviciilor	60.989	84.841	145.830
Lucrători calificați in agricultură, silvicultură și pescuit	4.275	4.004	8.279
Muncitori calificați și asimilați	72.285	18.698	90.983
Operatori la instalații și mașini; asamblori de mașini și echipamente	53.510	5.288	58.798
Muncitori necalificați	20.261	23.523	43.784

Activitatea 3 - Efectuarea unui sondaj de opinie pe scară largă pe populația din municipiul București, precum și evaluarea rezultatelor acestuia

3.1 Sondaj la scară largă efectuat pe populația din București

Sondajul de opinie din cadrul proiectului COBPEE s-a desfășurat pe o perioadă de 8 luni (februarie – septembrie 2016) și a cumulat un număr total de 1000 de respondenți. Printre metodele de contact ale populației țintă se numără varianta online a chestionarului disponibilă pe pagina web a proiectului (<http://cobpee.utcb.ro/>) și popularizată prin mediile de comunicare socială online și email-uri, precum și distribuirea personală a variantei tipărite a chestionarului. Formatul chestionarului cuprinde atât întrebări închise precum și întrebări deschise, acolo unde a fost cazul, întrebările având un preambul cu explicații suplimentare. Varianta finală a chestionarului este prezentată la sfârșitul acestui raport.

Chestionarul este structurat în cinci părți după cum urmează:

- Partea I (5 întrebări) cuantifică nivelul de pregătire și informare al populației referitor la posibilitatea producerii unui cutremur major în România.
- Partea II (6 întrebări) cuantifică aspecte legate de importanța nivelului de siguranță structurală pentru populație precum și așteptările acesteia legate de siguranța clădirilor nou construite.
- Partea III (6 întrebări) cuantifică nivelul de avarii/pagube așteptate de către populație în urma unui cutremur vrâncean de magnitudine mare, precum și disponibilitatea acesteia pentru efectuarea lucrărilor de consolidare ale locuințelor înainte de cutremur.
- Partea IV (8 întrebări) evidențiază atitudinea populației după producerea unui eventual cutremur major, nivelul de așteptări referitor la durata de timp considerată acceptabilă până la revenirea la situația precedentă cutremurului precum și opinia populației referitor la responsabilitatea financiară a reparațiilor clădirilor proprietate personală avariate în timpul evenimentului seismic.
- Partea V (8 întrebări) cuprinde informații generale despre respondenți (vârstă, sex, educație, venit) precum și despre tipul clădirilor în care aceștia locuiesc.

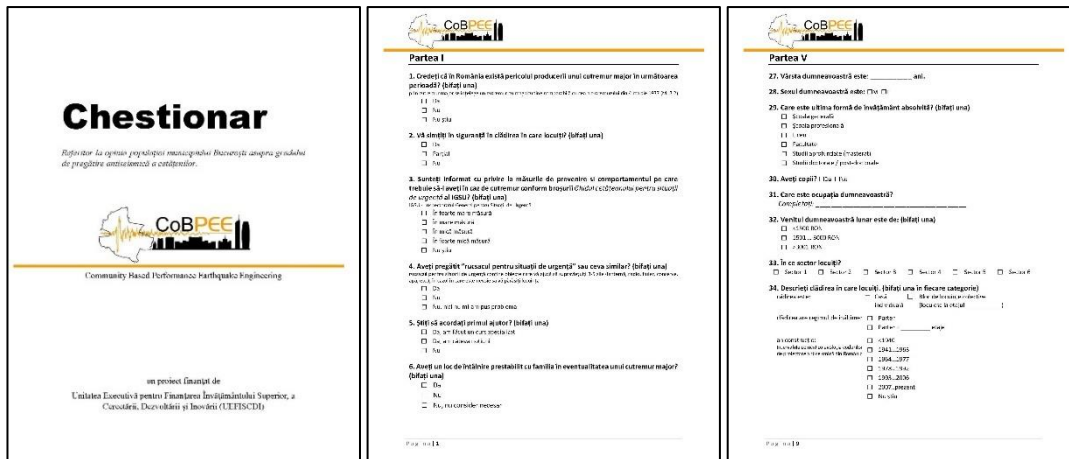


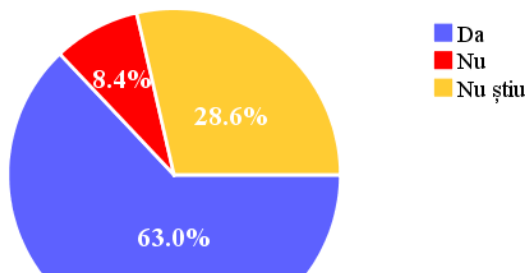
Figura 3 1 Chestionar CoBPEE - varianta format hârtie (selecție)

3.2 Evaluarea rezultatelor sondajului

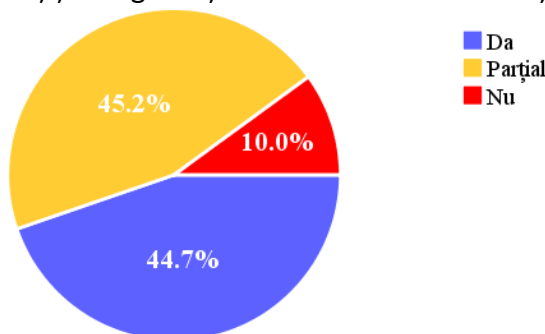
Răspunsurile la o serie de întrebări din cadrul sondajului sunt prezentate în cele ce urmează.

Partea I

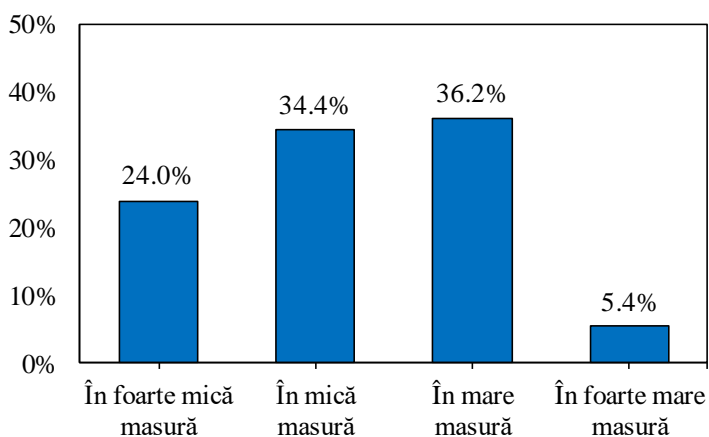
1. Credeți că în România există pericolul producerii unui cutremur major în următoarea perioadă?



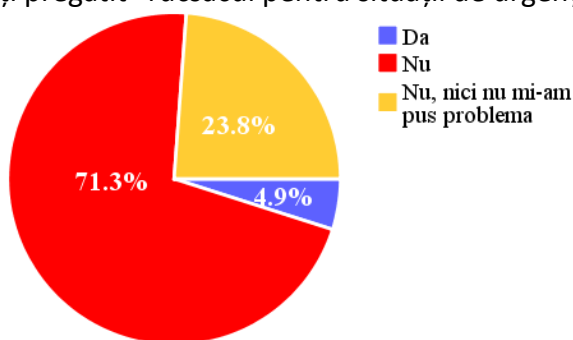
2. Vă simțiți în siguranță în clădirea în care locuiți?



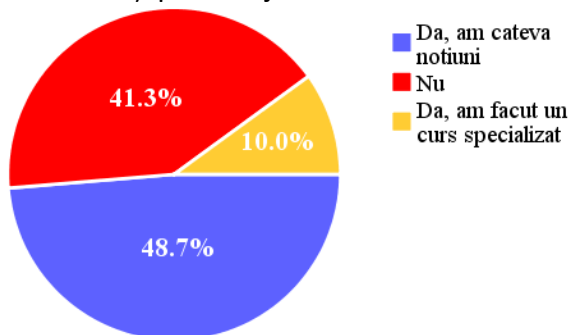
3. Sunteți informat cu privire la măsurile de prevenire si comportamentul pe care trebuie să-l aveți în caz de cutremur conform broșurii *Ghidul cetățeanului pentru situații de urgență* al IGSU?



4. Aveți pregătit “rucsacul pentru situații de urgență” sau ceva similar?



5. Știți să acordați primul ajutor?



6. Aveți un loc de întâlnire prestabilit cu familia în eventualitatea unui cutremur major?

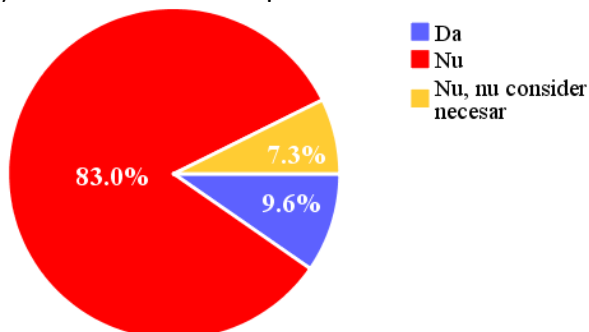


Figura 3.2 Răspunsurile la întrebările din prima parte a sondajului

Peste 75% dintre respondenții la sondajul de opinie desfășurat în anul 2016 au răspuns că în cazul unui cutremur vrâncean de magnitudine mare se așteaptă la avarii mici sau moderate

la locuințele lor. Rezultatele obținute în urma sondajului diferențiate pe blocuri de apartamente și case individuale sunt ilustrate în Figura 3.3. Astfel, se poate observa foarte clar faptul că locuitorii din blocuri se așteaptă la grade de avariere mai mici comparativ cu cei din case individuale.

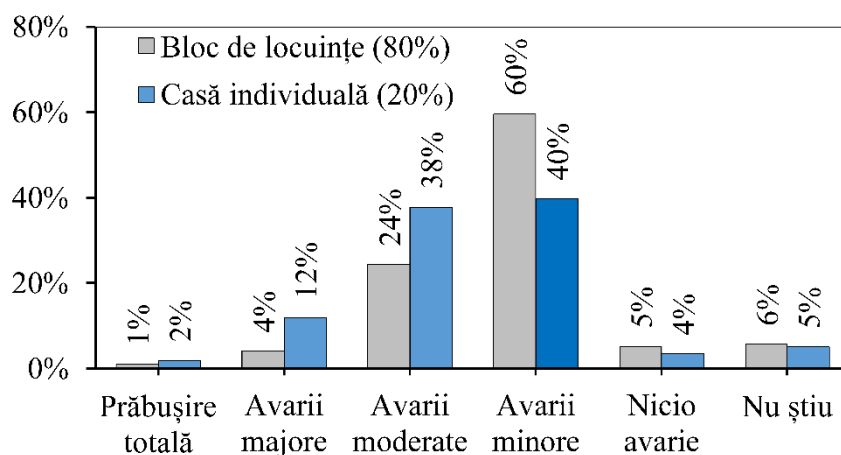


Figura 3.3 Grad de avariere așteptat în funcție de tipul clădirii (bloc de apartamente vs. Casă individuală)

Analiza rezultatelor obținute doar pentru respondenții care locuiesc în blocuri de apartamente este ilustrată în Figura 3.4. Astfel, se poate observa faptul că cea mai mare pondere a avariilor extinse și complete se regăsește la clădirile construite înainte de 1977. De asemenea, există un anumit grad de neîncredere în comportarea clădirilor construite după anul 2007.

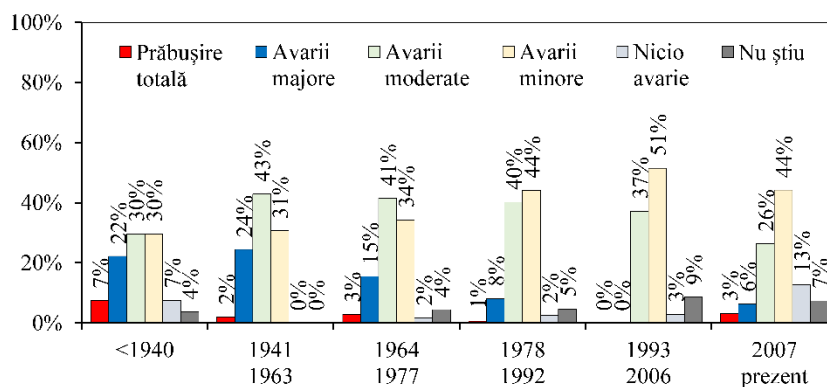


Figura 3.4 Grad de avariere așteptat în funcție de anul de construcție al clădirii (rezultate obținute doar pentru blocurile de apartamente)

Diferențierea diferitelor stări de avariere în funcție de mărimea cutremurului este ilustrată în Figura 3.5. Astfel, se poate observa faptul că și în cazul unui cutremur major se așteaptă un nivel de avariere moderat. Este evident faptul că nu există o transpunere clară a obiectivelor de performanță din codurile de proiectare și la nivelul populației. Comportarea așteptată a unei clădiri în cazul unui cutremur major implică un nivel ridicat de avarii, mai ales la elementele nestructurale, dar cu toate acestea colapsul structural este evitat.

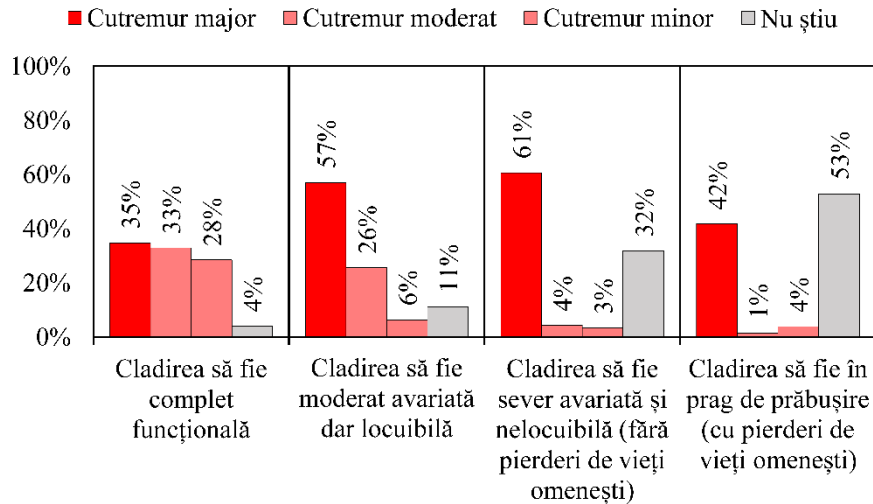


Figura 3.5 Grad de avariere așteptat pentru o clădire nouă în funcție de tipul de cutremur

Nivelul de încredere al respondenților în clădirile construite în diferite perioade de timp este ilustrat în Figura 3.6. Astfel, se poate observa foarte clar faptul că respondenții au cea mai mare încredere în clădirile construite în perioada 1978 – 1992, urmate de clădirile construite în perioada de după 2007. Aceste rezultate par surprinzătoare mai ales dacă ne gândim la faptul că prescripțiile actuale de proiectare sunt mai severe și mult mai complete comparativ cu cele de acum aproape 40 de ani. În Figura 3.7 este ilustrată histograma perioadei de construcție a clădirilor în care locuiesc respondenții la chestionar.

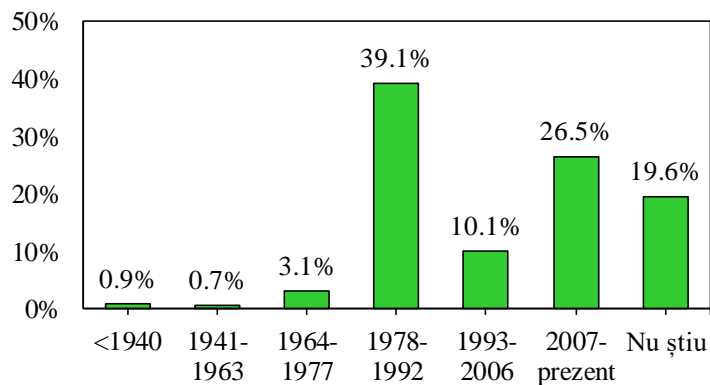


Figura 3.6 Histograma nivelului de încredere al populației în clădirile construite în diferite perioade de timp

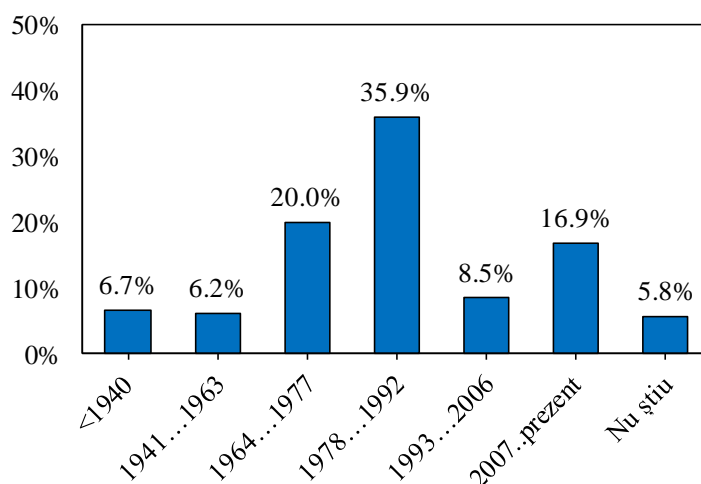


Figura 3.7 Histograma anului de construcție al clădirilor în care locuiesc respondenții la sondajul de opinie desfășurat în anul 2016

O altă întrebare din chestionar care a oferit rezultate interesante a fost cea referitoare la timpul considerat acceptabil de respondenți fără o anumită utilitate. Utilitățile selectate au fost apa, electricitatea, gazele, internetul și telefonia. Apa curentă, telefonia și electricitatea apar ca cele mai importante utilități, lucru relevat de faptul că timpul considerat acceptabil fără această utilitate este de maxim câteva zile.

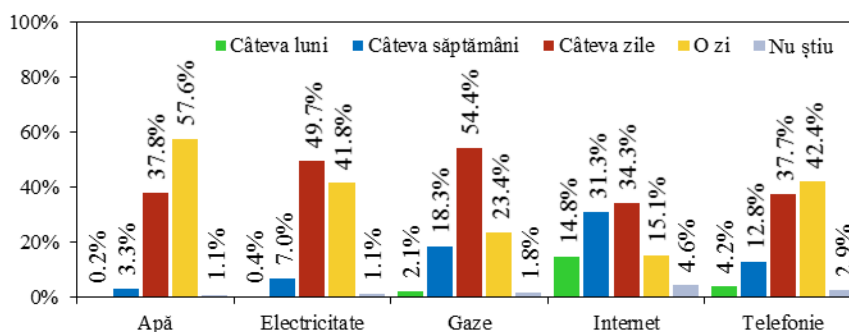


Figura 3.8 Histograma timpului considerat acceptabil fără o anumită utilitate (apă, electricitate, gaze, internet, telefonia)

Timpul considerat acceptabil pentru a fi petrecut într-un adăpost temporar după un cutremur variază de la câteva zile la câteva săptămâni așa cum reiese din Figura 3.9.

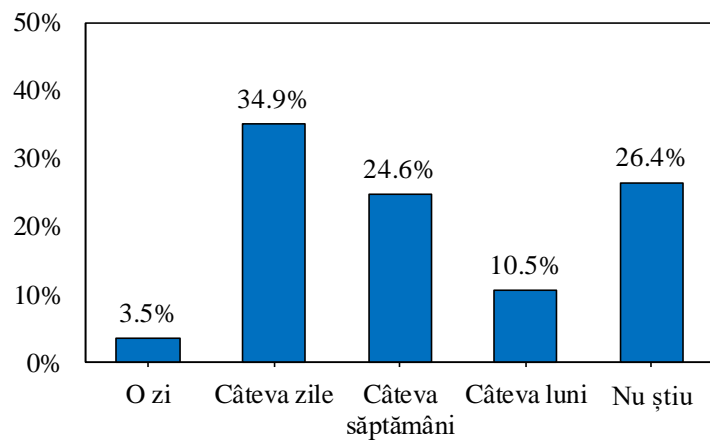
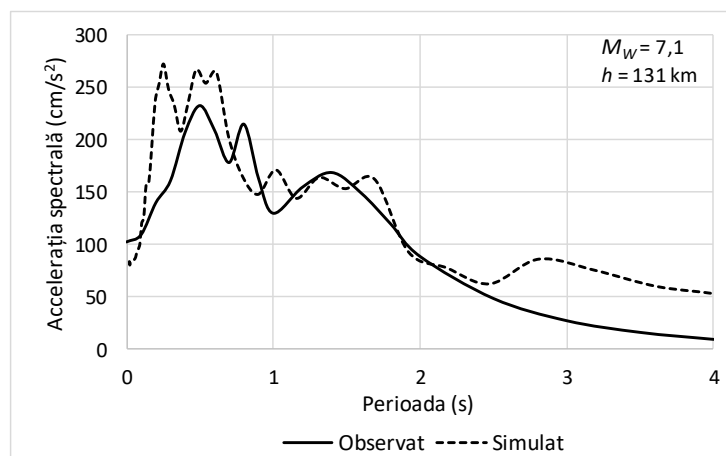
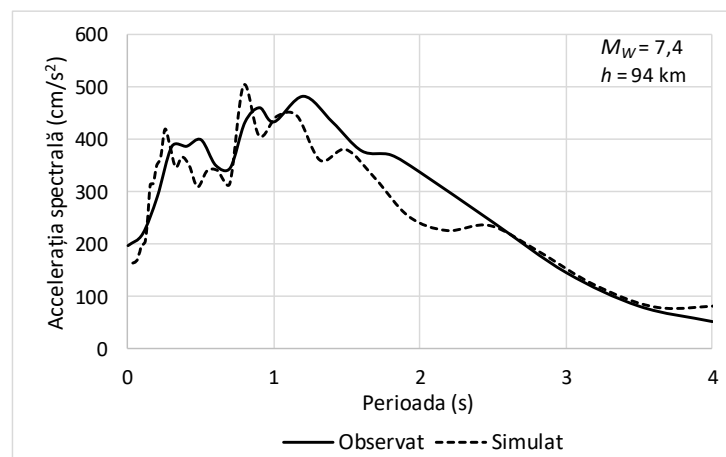


Figura 3.9 Histograma timpului considerat acceptabil pentru a fi petrecut într-un adăpost temporar

Activitatea 4 - Derivarea scenariilor de cutremur din sursa Vrancea pentru municipiul București

4.1 Evaluarea simulărilor stochastice folosind mișcări seismice înregistrate în București

În studiul lui (Pavel et al. 2016a) sunt comparate spectrele mișcărilor seismice înregistrate în timpul cutremurelor vrâncene din 4 martie 1977 ($M_W = 7,4$, $h = 94$ km), 30 august 1986 ($M_W = 7,1$, $h = 131$ km) și 30 mai 1990 ($M_W = 6,9$, $h = 91$ km) cu cele simulate folosind programul EXSIM (Motazedian și Atkinson, 2005) pentru stația seismică INCERC. Pentru amplasamentul INCERC, condițiile de teren sunt descrise pe baza amplificărilor rezultate din profilul de viteze propus de Constantinescu și Enescu (1985). Comparațiile dintre mișcările observate și cele simulate sunt prezentate în Figura 4.2. Se poate observa foarte clar că spectrele simulate au aceeași alura ca cele observate. Totodată, se mai poate remarca amplificarea pentru perioade spectrale de aproximativ 1,5 s vizibilă pe ambele tipuri de spectre. În plus, se mai poate evidenția faptul că amplificările spectrale din domeniul de perioade lungi scad odată cu scăderea magnitudinii evenimentului seismic (de la cutremurul din 1977 la cel din 1990).



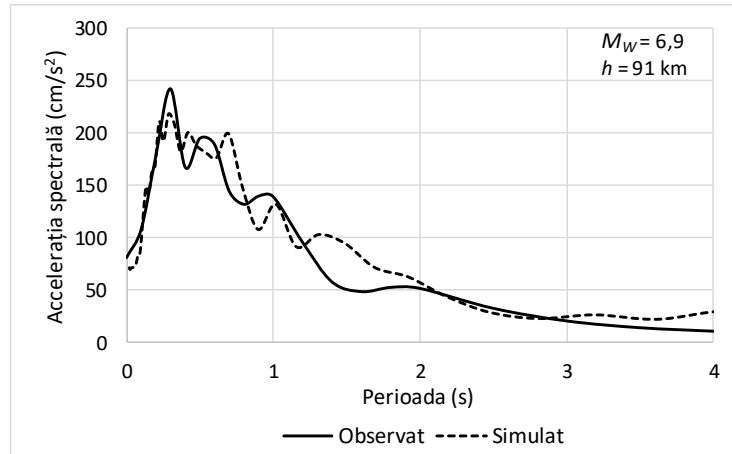
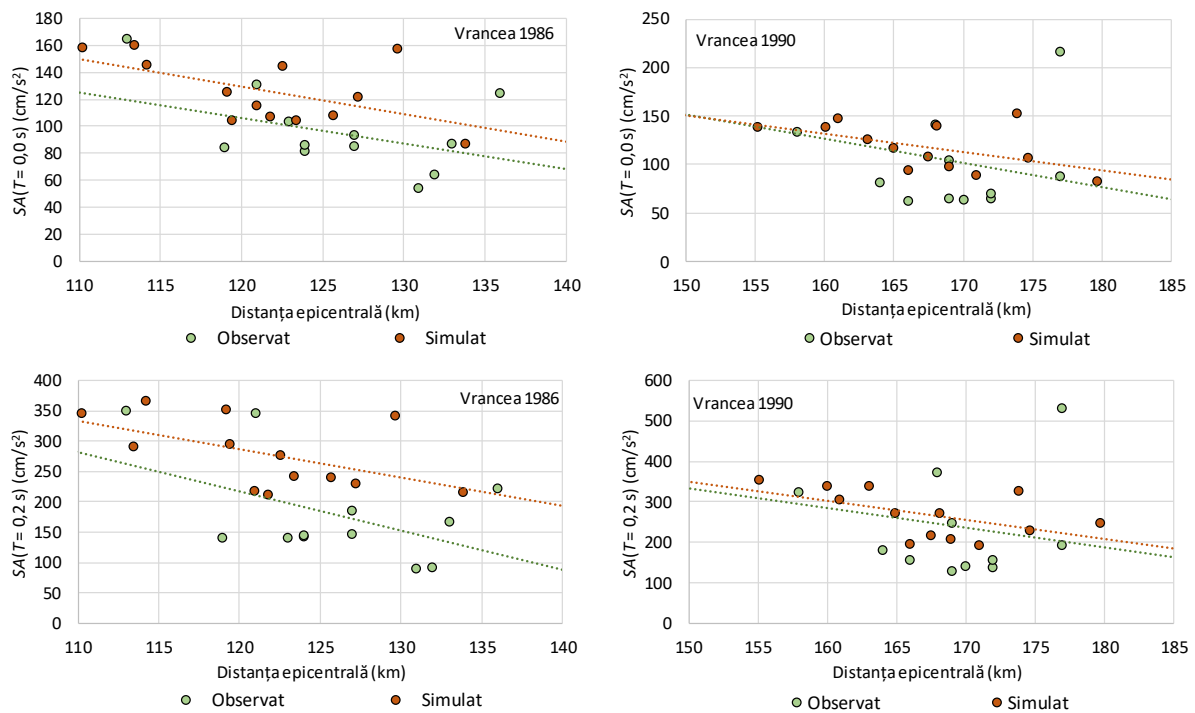


Figura 4.1 Comparații între spectrele observate și cele simulate folosind programul EXSIM (Motazedia și Atkinson, 2005) pentru stația seismică INCERC și pentru cutremurele vrâncene din martie 1977 (sus), august 1986 (mijloc) și mai 1990 (jos) (Pavel et al. 2016a)

În Figura 4.2 sunt comparate accelerațiile spectrale observate în timpul cutremurelor vrâncene din august 1986 și mai 1990 cu valorile simulate din studiul lui Pavel et al. (2016c). Astfel, se poate observa o apropiere destul de bună între dreptele de regresie pentru accelerațiile spectrale corespunzătoare cutremurului din mai 1990, în special pentru domeniul de perioade scurte. În cazul evenimentului seismic din august 1986, diferențele cele mai mici se observă la $T = 0,5$ s.



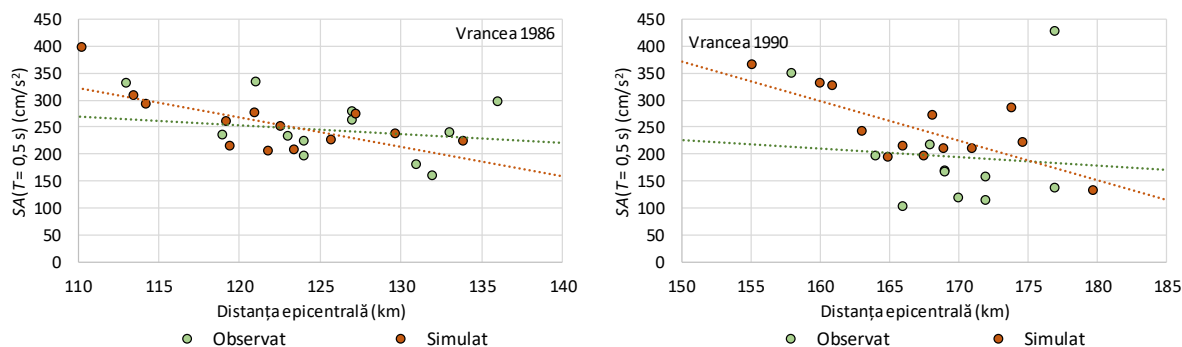
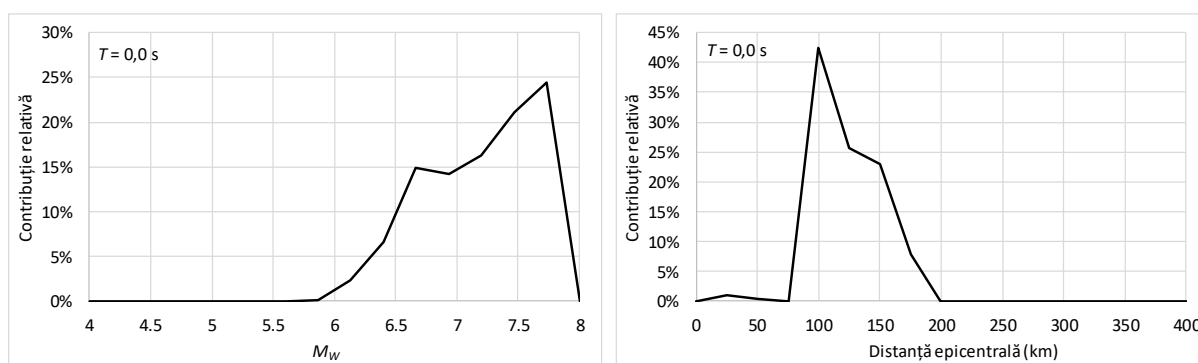


Figura 4.2 Comparație între accelerațiile spectrale observate și cele simulate pentru cutremurele vrâncene din august 1986 și mai 1990 și pentru trei perioade spectrale

4.2 Derivarea scenariilor de cutremur din sursa seismică Vrancea

În codul actual de proiectare seismică P100-1/2013 (2013) acțiunea seismică este definită pentru calculul la Starea Limită Ultimă (SLU) ca având un interval mediu de recurență (perioadă medie de revenire) de 225 ani (probabilitate de depășire de 20% în 50 de ani). Pentru calculul la Starea Limită de Serviciu (SLS), acțiunea seismică are asociată un interval mediu de recurență mai mic.

Analiza mai detaliată a dezagregării hazardului seismic din Figura 4.3 ne arată faptul că există mai multe intervale de magnitudini/distanțe care contribuie la hazardul pentru București. Astfel, se remarcă și contribuția magnitudinilor mai mici asupra accelerației maxime al terenului, precum și contribuția unor distanțe epicentrale mai mari asupra hazardului seismic corespunzător unei perioade $T = 1,0$ s. Astfel, în cadrul analizei de risc seismic detaliată în capitolul următor au fost selectate scenarii de cutremure definite prin mai multe combinații de magnitudini-distanțe sursă-amplasament. Aceste scenarii sunt menționate în Tabel 4.1.



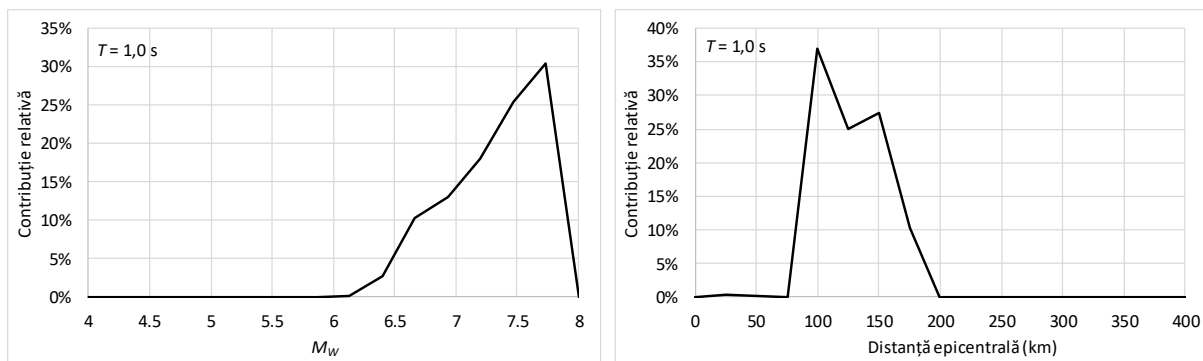


Figura 4.3 Dezagregarea hazardului seismic pentru București pentru $T = 0,0$ s (sus) și pentru $T = 1,0$ s (jos) și o perioada medie de revenire a acțiunii seismice de 475 ani

Tabel 4.1 Caracteristicile scenariilor de cutremur pentru municipiul București

Scenariu nr.	M_w	h (adâncimea de focar)	d (distanța epicentrală)
1	$M_w = 7.0$	90 km	120 km
2	$M_w = 7.0$	150 km	180 km
3	$M_w = 7.5$	90 km	120 km
4	$M_w = 7.5$	150 km	180 km
5	$M_w = 8.0$	90 km	120 km
6	$M_w = 8.0$	150 km	180 km

Activitatea 5 - Derivarea parametrilor de performanta ai comunității

5.1 Stabilirea unei legături între parametrii de performanță ai comunității și comportarea materialelor de construcții/structurilor

Evaluarea comportării fondului construit existent în timpul unui cutremur reprezintă un rezultat al analizei de risc seismic. Evaluarea riscului seismic al construcțiilor existente este un procedeu complex ce depinde de metodele de descriere a hazardului seismic și a vulnerabilității seismice a construcțiilor. Alegerea metodei de evaluare a vulnerabilității seismice depinde de nivelul de detaliu la care construcțiile ce urmează să fie analizate sunt caracterizate. Astfel, în funcție de calitatea și cantitatea informațiilor de care dispunem și de importanța zonei analizate, metoda de evaluare a vulnerabilității poate să se refere la o clădire individuală, la un tip de sistem structural, la o categorie de construcții sau la o clasă de vulnerabilitate.

În cadrul proiectului COBPÉE, evaluarea vulnerabilității seismice se face pe baza rezultatelor de la recensământul din anul 2011. Aceste date, referitoare la anul de construcție, regimul de înălțime și materialul de construcție au fost disponibile la nivel de sector.

Cea mai cunoscută metoda de evaluare a vulnerabilității construcțiilor bazată pe niveluri de performanță este HAZUS-MH (2012). Metoda are la bază patru concepte fundamentale: curba de capacitate, spectrul de cerință seismică, punctul de performanță și curbele de fragilitate. Curba de capacitate reprezintă relația dintre rezistența laterală și deplasarea structurii și se obține în urma unei analize de tip static neliniar (pushover). Punctul de performanță se obține prin intersecția curbei de capacitate cu spectrul de cerință seismică caracteristic amplasamentului. Curbele de fragilitate estimează probabilitatea de a atinge sau de a depăși anumită stare limită de avariere dată fiind o anumită valoare a unui parametru al mișcării seismice. Pentru a evalua gradul de avariere al structurii, localizarea punctului de performanță se compară cu limitele stărilor de avariere predefinite în funcție de forma curbei de capacitate. HAZUS-MH (2012) definește curbe de capacitate și parametrii acestora (valoarea mediană și abaterea standard a distribuției lognormale) pentru construcția curbelor de fragilitate pentru 36 tipologii diferite de structuri.

Comportarea/permanența structurală poate fi evaluată folosind mai mulți indicatori, atât indicatori globali cum ar fi driftul maxim de etaj, ductilitatea globală a structurii, sau rapoarte între perioadele structurii înainte și după ce acțiunea seismică a încetat sau indicatori locali, precum rotirea sau curbura maximă a diferitelor elemente structurale, deformația specifică maximă din beton sau armătură, energia disipată, sau indicatori compuși precum indicatorul Park-Ang care ține cont atât de ductilitate, cât și de energia disipată.

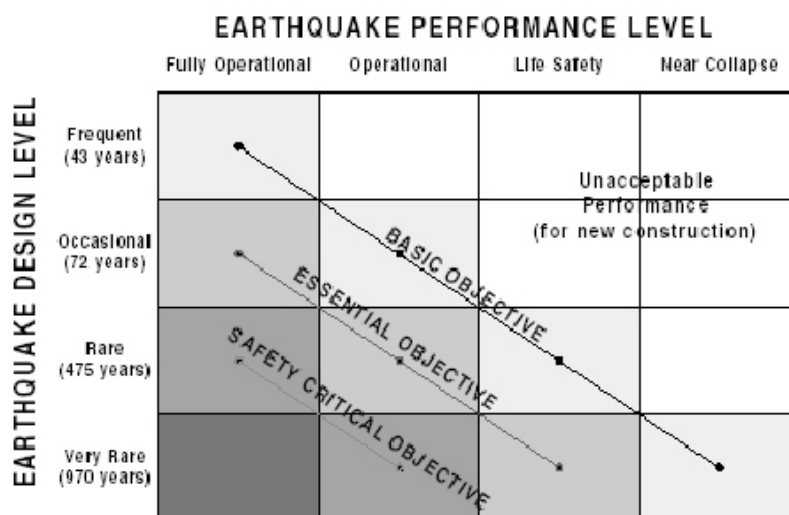


Figura 5.1 Obiective minime de performanță pentru clădiri (ATC-40)

5.2 Derivarea parametrilor de performanță ai comunității

Mieler et al. (2014) menționează trei tipuri de parametri de performanță ai comunității. Aceștia sunt: efecte nedorite, funcțiile vitale ale comunității și sisteme/componente importante. Un exemplu de efect nedorit este plecarea în număr masiv a rezidenților comunității respective după un dezastru (așa cum s-a întâmplat în New Orleans după uraganul Katrina) sau închiderea unor firme/activități economice de a căror funcționare depindea un număr mare din locuitori. Cea de-a doua categorie de parametri de performanță include serviciile/facilitățile necesare astfel încât să nu aibă loc un efect nedorit. Mieler et al. (2014) oferă ca exemplu existența unor adăposturi/locuințe temporare în interiorul comunității și în care să poată fi cazate persoanele care nu se mai pot întoarce la locuințele lor în urma dezastrului natural. Un alt exemplu este lipsa școlilor sau a locurilor de muncă în perioada de după dezastrul natural. Ultimul tip de parametri de performanță include atât fondul construit permanent al unei comunități, cât și adăposturile/locuințele temporare și serviciile publice (apă, electricitate, gaz, telefonie, etc.). În cadrul sondajului de opinie efectuat în cadrul proiectului de cercetare COBPEE a fost evaluată opinia rezidenților din București referitoare la o serie de parametri de performanță mai-sus menționați. Principalele categorii de parametri de performanță evaluați sunt legați de:

- comportarea fondului construit în eventualitatea unui cutremur de magnitudine mare – număr clădiri distruse, număr persoane deplasate și număr de adăposturi temporare necesare;
- impactul unui cutremur asupra serviciilor publice;
- impactul unui cutremur asupra comunității prin pagubele economice directe și indirecte rezultate.

Parametrul de performanță referitor la comportarea fondului construit în timpul unui cutremur și pagubele rezultate în urma acestuia este strâns legat de analiza de risc seismică efectuată în subcapitolul precedent. Pe baza răspunsurilor oferite la chestionarul efectuat în

cadrul acestui proiect și utilizând rezultatele analizelor de risc seismic prezentata anterior vor fi propuse o serie de obiective de performanță în cadrul fazei III a proiectului. Din nefericire, impactul asupra utilităților publice nu poate fi analizat în acest proiect din lipsa datelor, dar pe baza răspunsurilor persoanelor intervievate vor putea fi propuse și în acest caz o serie de obiective de performanță.

Mieler et al. (2014) au propus următoarele obiective de performanță pentru un cutremur cu interval mediu de recurență de 500 de ani:

- Persoane rezidente deplasate < 5%;
- Activități economice întrerupte < 9%;
- Studenți deplasați < 6%;
- Servicii publice întrerupte < 9%;
- Clădiri rezidențiale neocupabile < 5%.

5.3 Analiza de risc seismic pentru municipiul București

Pentru acest studiu de risc seismic au fost utilizate datele colectate la recensământul din 2011 referitoare la structura fondului de clădiri rezidențiale din București. Fondul construit existent (la data recensământului din 2011) conține 131875 clădiri rezidențiale, cu un număr de 844541 locuințe având o suprafață totală de aproape 40 milioane m².

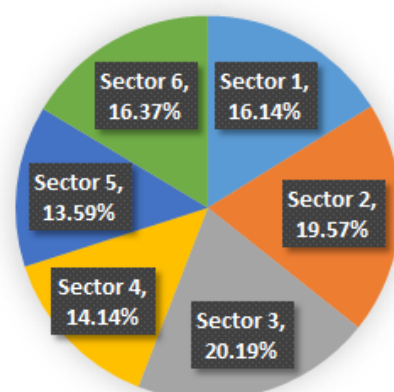


Figura 5.2 arată distribuția la nivel de sector a populației și respectiv a numărului de clădiri rezidențiale și a suprafeței acestora din municipiul București. Astfel, în sectoarele 1, 2 și 5 există cel mai mare număr de clădiri (aproape 70% din total) în care locuiește sub 45% din totalul populației. Restul de peste 55% din populație locuiește în puțin peste 30% din numărul clădirilor rezidențiale din București. Acest lucru arată că, în sectoarele 1 și 5, în special, există o proporție mare a clădirilor cu regim mic de înălțime, în timp ce Sectoarele 3, 4 și 6 conțin cea mai mare proporție a clădirilor cu regim mediu-mare de înălțime și care adăpostesc și cea mai mare parte a populației, lucru vizibil și din distribuția pe sectoare a suprafeței locuințelor. Numărul mediu de locuințe pe clădire, precum și suprafața medie a unei clădiri sunt raportate în Tabelul 5.1.

O altă analiză a fondului construit rezidențial existent este prezentată Figura 5.3 în care este ilustrată distribuția clădirilor rezidențiale pe regimuri de înălțime, precum și distribuția

populației pe nivelul de înălțime al clădirilor. Astfel, se poate observa că aproape 90% din clădirile rezidențiale existente au mai puțin de 3 etaje (incluzând parterul), dar acestea adăpostesc doar 21% din populație. În același timp, clădirile cu mai multe de șapte etaje având structuri de beton armat și care reprezintă în jur de 6% din numărul total de clădiri adăpostesc peste 50% din locuitorii municipiului București. Majoritatea acestor clădiri cu regim de înălțime mediu-mare au o structură cu pereți de beton armat (turnați monolit sau prefabricați) și au fost construite în anii '60 și '70 (Avram, 1987).

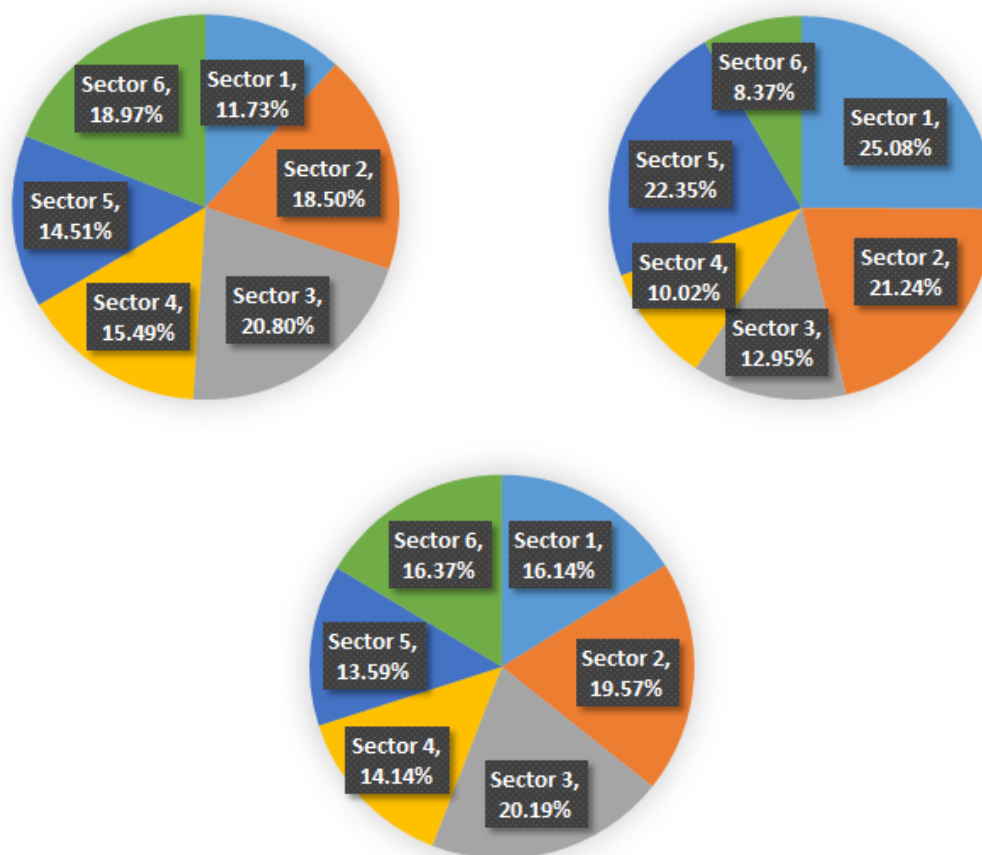


Figura 5.2 Distribuția populației (stânga sus), a numărului de clădiri rezidențiale pe sectoare (dreapta sus) și a suprafeței locuințelor (jos)

Tabel 5.1 Numărul mediu de locuințe pe clădire și suprafața medie a unui clădiri

Indicator	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6
Nr. mediu de locuințe /clădire	3.40	5.75	10.47	9.50	3.67	14.37
Suprafața medie pe clădire (m ²)	192.3	275.3	465.9	421.8	181.6	584.5

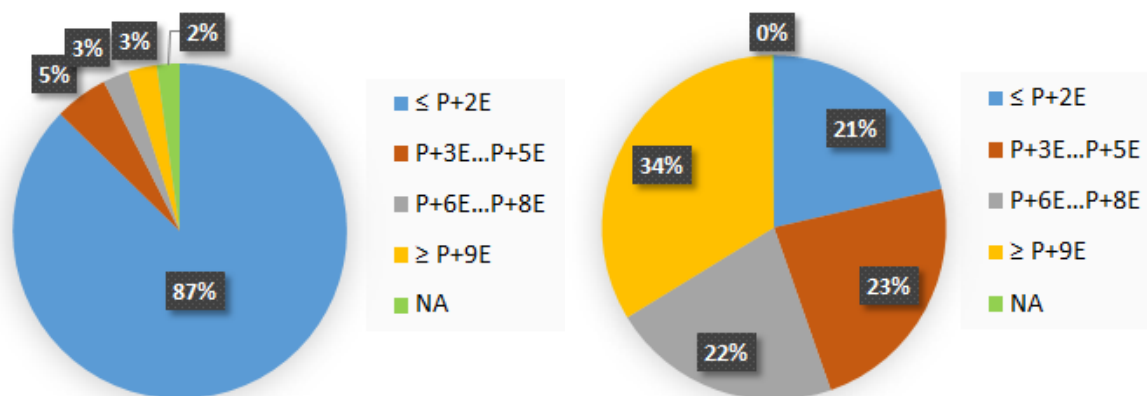


Figura 5.3 Distribuția numărului de clădiri rezidențiale în funcție de numărul de etaje (stânga) și distribuția populației pe nivelul de înălțime al clădirii (dreapta)

Pe baza datelor disponibile de la recensământul din 2011, s-a reușit o distribuție a clădirilor pe diferite tipologii, în funcție de nivelul de cod seismic utilizat la proiectare (determinat pe baza anului de construcție), regimul de înălțime și materialul din care este realizată structura de rezistență.

Nivelul codului de proiectare antiseismică utilizat la proiectarea structurii este fundamental pentru aprecierea/evaluarea vulnerabilității seismice a acesteia. Practica internațională clasifică prevederile de proiectare antiseismică în funcție de nivelul de siguranță considerat, de nivelul acțiunii seismice de proiectare, de prevederile de calcul, de prevederile de conformare și de detalieri, etc. Nivelul codurilor de proiectare antiseismică este împărțit astfel:

- PC – fără proiectare antiseismică (pre/no-code)
- LC – nivel scăzut (low-code)
- MC – nivel moderat (moderate-code)
- HC – nivel avansat (high/advanced-code).

Pentru încadrarea structurilor clădirilor existente într-o categorie sau alta de nivel de cod de proiectare se utilizează anul de construcție. Pentru cazul specific al României și ținând cont de evoluția codurilor de proiectare antiseismică (Lungu et al. 2002), se recomandă utilizarea următoarei clasificări:

- PC – înainte de 1961
- LC – între 1961 și 1977
- MC – între 1978 și 1991
- HC – după 1992

Limitele din punctul de vedere al regimului de înălțime sunt:

- Pentru structuri de beton armat:
 - P – P + 2E - structuri cu regim mic de înălțime (L);
 - P + 3E – P + 6E - structuri cu regim mediu de înălțime (M);
 - ≥ P + 7E- structuri cu regim mare de înălțime (H);
- Pentru structuri de zidărie, chirpici, lemn și alte materiale:
 - P – P + E - structuri cu regim mic de înălțime (L);

– P + 2E – P + 4E - structuri cu regim mediu de înălțime (M).

Identificarea tipologiilor pentru clădirile rezidențiale din București s-a efectuat pe baza datelor de la recensământul din 2011. Astfel, pe baza acestor date s-au putut identifica șapte tipologii conform criteriilor din proiectul RISK-UE (Lungu et al.2002), după cum urmează: două tipologii pentru structuri de beton armat (RC1 și RC2), trei tipologii pentru structuri de zidărie și câte o tipologie pentru structuri de chirpici și de lemn, respectiv.

Informațiile din recensământ nu ne-au permis să separăm structurile cu pereți de beton armat în structuri cu pereți prefabricați și structuri cu pereți monoliți. De asemenea, nici tipologie de structuri duale (cadre + pereți de beton armat) nu a putut fi identificată.

Tabel 5.2 Tipologii structurale pentru municipiul București

Tipologie	Descriere	Regim de înălțime	Nivel cod seismic
RC1	Cadre de beton armat	Regim mic de înălțime (L)	Pre-cod (PC)
		Regim mediu de înălțime (M)	Cod inferior (LC)
		Regim mare de înălțime (H)	Cod moderat (MC) Cod avansat (HC)
RC2	Structuri cu pereți de beton armat	Regim mic de înălțime (L)	Cod inferior (LC)
		Regim mediu de înălțime (M)	Cod moderat (MC)
		Regim mare de înălțime (H)	Cod avansat (HC)
M3.1	Structuri de zidărie nearmată cu planșee de lemn	Regim mic de înălțime (L)	Pre-cod (PC)
		Regim mediu de înălțime (M)	Cod inferior (LC)
M3.4	Structuri de zidărie nearmată cu planșee de beton armat	Regim mic de înălțime (L)	Pre-cod (PC)
		Regim mediu de înălțime (M)	Cod inferior (LC)
			Cod moderat (MC) Cod avansat (HC)
M4	Structuri de zidărie armată sau confinată	Regim mic de înălțime (L)	Pre-cod (PC)
		Regim mediu de înălțime (M)	Cod inferior (LC) Cod moderat (MC) Cod avansat (HC)
M2	Structuri de chirpici	Regim mic de înălțime (L)	Pre-cod (PC)
			Cod inferior (LC)
W1	Structuri de lemn	Regim mic de înălțime (L)	Pre-cod (PC)
			Cod inferior (LC)
			Cod moderat (MC) Cod avansat (HC)

Pentru fiecare tipologie din Tabelul 5.2 a fost asociată câte o curbă de capacitate e definită în funcție de patru parametri și anume accelerația de curgere, deplasarea de curgere, accelerația ultimă și deplasarea ultimă. Curbele de fragilitate au fost preluate din proiectul RISK-UE (Văcăreanu et al. 2009), precum și din HAZUS-MH (2012). Distribuția numărului de clădiri și a suprafeței aferente fiecărei tipologii din București este ilustrată în Figura 5.4.

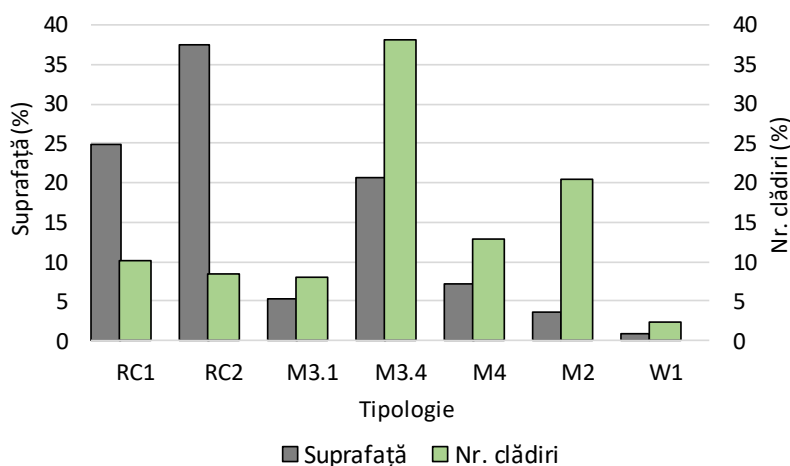


Figura 5.4 Distribuția suprafeței construite și a numărului de clădiri pentru tipologiile din municipiul București

Numărul mediu de persoane afectate pentru diferite perioade medii de revenire în funcție de luarea sau nu în considerare a corelației spațiale este prezentat în Tabel 5.3. Este evident faptul că prin luarea în considerare a corelației spațiale numărul mediu de persoane afectate crește. Aceeași observație este vizibilă și pe baza rezultatelor din Tabel 5.4 Tabel 5.5 pentru numărul mediu de persoane deplasate și pagubele economice directe.

Tabel 5.3 Număr mediu de persoane afectate pentru diferite perioade medii de revenire

Perioada medie de revenire (ani)	Număr mediu de persoane afectate	
	Tip corelație spațială	
	Fără corelație	Corelație inter-eveniment + intra-eveniment
50	4024	4918
100	4777	6900
200	5922	11000
500	8249	15100
1000	12150	19600

Tabel 5.4 Număr mediu de persoane deplasate pentru diferite perioade medii de revenire

Perioada medie de revenire (ani)	Număr mediu de persoane deplasate	
	Tip corelație spațială	
	Fără corelație	Corelație inter-eveniment + intra-eveniment
50	136034	187179
100	185431	268448
200	239758	503120
500	379800	759200
1000	663538	879818

Tabel 5.5 Pagube economice directe medii pentru diferite perioade medii de revenire

Perioada medie de revenire (ani)	Pagube economice directe medii pentru clădiri rezidențiale din București			
	Tip corelație spațială			
	Fără corelație		Corelație inter-eveniment + intra-eveniment	
	Miliarde €	% PIB România	Miliarde €	% PIB România
50	5,50	3.67 %	6,65	4.43 %
100	6,58	4.39 %	8,06	5.37 %
200	7,62	5.08 %	9,31	6.20 %
500	8,83	5.89 %	10,67	7.11 %
1000	9,42	6.28 %	11,82	7.88 %

În Tabelul 5.6 și Tabelul 5.7 sunt comparate pagubele economice directe medii, precum și numărul mediu de persoane afectate pentru diferite scenarii de cutremur și din diferite studii. Cele mai mari pagube economice sunt obținute în studiul lui Pavel și Văcăreanu (2016) pentru cutremure cu magnitudinea $M_w \leq 7,5$. În cazul scenariilor de cutremur cu $M_w = 8,0$, valorile cele mai mari ale pierderilor sunt obținute de Lang et al. (2012). În cazul numărului mediu de

persoane afectate, rezultatele obținute de către Lang et al. (201) sunt mult superioare celor din celelalte două studii. Se mai remarcă faptul că diferențele dintre rezultatele obținute folosind abordarea clasică din HAZUS (2012) din studiul lui Pavel și Văcăreanu (2016) este mai mică în cazul numărului de persoane afectate, comparativ cu pierderile economice directe.

Tabel 5.6 Comparație între pagubele economice directe pentru diferite scenarii de cutremur

Scenariu nr.	M_w, h, d	Pierderi economice (metoda macroseismică)		Pierderi economice directe în miliarde € din Pavel și Văcăreanu (2016)	Pierderi economice directe în miliarde € din Lang et al. (2012)
		Medie (miliarde €)	Coefficient de variație		
1	$M_w = 7.0, h = 90$ km, $d = 120$ km	3.60	0.74	7.20	5,12
2	$M_w = 7.0, h = 150$ km, $d = 180$ km	1.78	0.82	5.04	2,83
3	$M_w = 7.5, h = 90$ km, $d = 120$ km	7.34	0.54	10.31	9,00
4	$M_w = 7.5, h = 150$ km, $d = 180$ km	3.93	0.72	7.68	6,97
5	$M_w = 8.0, h = 90$ km, $d = 120$ km	11.49	0.36	12.72	14,80
6	$M_w = 8.0, h = 150$ km, $d = 180$ km	7.18	0.55	10.09	11,00

Tabel 5.7 Comparație între numărul de persoane afectate pentru diferite scenarii de cutremur

Scenariu nr.	M_w, h, d	Număr persoane afectate (metoda macroseismică)		Număr mediu persoane afectate din Pavel și Văcăreanu (2016)	Număr mediu persoane afectate din Lang et al. (2012)
		Medie	Coefficient de variație		
1	$M_w = 7.0, h = 90$ km, $d = 120$ km	9779	1.13	7086	18247
2	$M_w = 7.0, h = 150$ km, $d = 180$ km	1888	0.97	3398	6496
3	$M_w = 7.5, h = 90$ km, $d = 120$ km	14148	1.29	17780	55728
4	$M_w = 7.5, h = 150$ km, $d = 180$ km	11942	1.09	8074	30812
5	$M_w = 8.0, h = 90$ km, $d = 120$ km	46161	1.29	38282	130808
6	$M_w = 8.0, h = 150$ km, $d = 180$ km	13480	1.32	16822	82606

Timpul petrecut de o clădire într-o anumită stare de funcționare se consideră a fi o variabilă aleatoare de tip lognormal cu diferite valori mediane și abateri standard propuse de Burton et al. (2016). O astfel de analiză a timpului necesar pentru recuperarea capacității rezidențiale

pentru fondul rezidențial din București a fost efectuată de către Pavel și Văcăreanu (2016) pentru diferite scenarii de cutremur. Rezultatele, în termeni de capacitate medie de adăpostire la un an, și respectiv doi ani după cutremur sunt ilustrate în Tabelul 5.8. Totodată, sunt ilustrate în același tabel și valorile medii ale rezilienței calculate pentru fiecare dintre cele șase scenarii de cutremur.

Tabel 5.8 Analizei rezilienței în termeni de capacitate medie de adăpostire pentru diferite scenarii de cutremur (Pavel și Văcăreanu, 2016)

Scenariu nr.	M_w, h, d	Capacitatea medie de adăpostire		Reziliența
		După 1 an	După 2 ani	
1	$M_w = 7,0, h = 90 \text{ km}, d = 120 \text{ km}$	81.80%	96.50%	85,90%
2	$M_w = 7,0, h = 150 \text{ km}, d = 180 \text{ km}$	89.33%	98.35%	91,13%
3	$M_w = 7,5, h = 90 \text{ km}, d = 120 \text{ km}$	70.17%	91.99%	77,83%
4	$M_w = 7,5, h = 150 \text{ km}, d = 180 \text{ km}$	77.34%	91.92%	81,43%
5	$M_w = 8,0, h = 90 \text{ km}, d = 120 \text{ km}$	57.68%	87.26%	70,12%
6	$M_w = 8,0, h = 150 \text{ km}, d = 180 \text{ km}$	69.55%	89.79%	76,56%

Activitatea 6 - Derivarea obiectivelor de performanță ale comunității

6.1 Derivarea obiectivelor de performanță ale comunității pe baza parametrilor de performanță

Pe baza analizelor de risc seismic efectuate în cadrul proiectului COBPEE se pot trage următoarele concluzii:

- Există o discrepanță evidentă între rezultatele analizelor de risc seismic pentru diferite scenarii de cutremur produse în sursa de adâncime intermediară Vrancea și așteptările locuitorilor din București în ceea ce privește avariile care vor apărea la locuințele lor.
- Neinformarea populației în ceea ce privește obiectivele de performanță asociate unor structuri noi sau existente poate genera presiuni mari din partea opiniei publice după un cutremur. Chiar dacă în urma cutremurului nu există clădiri prăbușite, se estimează că numărul clădirilor cu diverse grade de avariere va fi considerabil chiar și în cazul unui cutremur cu magnitudine $M_W = 6,8 - 7,0$. Acest lucru va implica și faptul că o parte dintre locatarii acestor clădiri avariate vor trebui cazați în locuințe temporare, cel puțin până clădirile în care locuiesc vor putea fi verificate.
- Impactul unui cutremur de magnitudine mare asupra Bucureștiului este foarte mare. În acest moment, implicațiile pe care un astfel de cutremur îl poate avea asupra economiei la nivel național nu au putut fi evaluate.
- Obiectivele de performanță propuse de Mieler et al. (2014) pentru un cutremur cu interval mediu de recurență de 500 de ani sunt mult prea optimiste pentru situația actuală din București.
- Obiectivele de performanță pentru un cutremur cu interval mediu de recurență de 100 de ani, propuse pe baza rezultatelor din acest studiu ar putea fi:
 - persoane rezidente deplasate < 10%;
 - activități economice întrerupte < 15%;
 - studenți deplasați < 15%;
 - servicii publice întrerupte < 20%;
 - clădiri rezidențiale neocupabile < 10%.
- Este nevoie de o verificare mai detaliată a comportării structurilor pentru cutremure cu diferite intervale medii de recurență, astfel încât să existe un control mai detaliat al răspunsului.
- Analiza de reziliență și cea pe ciclu de viață trebuie să devină instrumente principale pentru stabilirea și ierarhizarea politicii de consolidare a clădirilor și chiar și pentru proiectarea clădirilor din clasele de importanță-expunere I și II.
- Proiectarea clădirilor noi trebuie să fie făcută la un nivel de siguranță ales astfel încât comportarea acestora în cazul unor cutremure majore să fie suficient de bună încât să permită locuirea acestora și după cutremur. O primă soluție pentru acest

deziderat ar fi creșterea accelerației de proiectare la o perioadă medie de revenire de 475 ani. O altă soluție ar fi limitarea mai strictă a driftului maxim de etaj, precum și impunerea unor limite de drift dependente de tipul structurilor și de regimul de înălțime al acestora.

6.2 Comparații între obiectivele de performanță ale comunității și obiectivele de performanță din codurile de proiectare seismice actual

Majoritatea codurilor de proiectare seismice propun o verificare a deplasărilor la SLU, cu excepția Eurocodului 8 (2004). Se mai poate observa faptul că în valoarea de 2,5% pentru deplasările admisibile de nivel este comună majorității codurilor. Codul românesc P100-1/2013 (2013) se remarcă prin faptul că impune o verificare a deplasărilor relative de nivel pentru două stări limită. În se găsesc valorile mediane ale driftului de etaj asociat diferitelor stări de avariere și pentru diferite tipologii structurale proiectate folosind un cod seismic avansat conform HAZUS (2012). În Tabel 6.1 sunt prezentate doar valorile pentru clădiri de beton armat și pentru clădiri de zidărie. Se remarcă faptul că în metodologia HAZUS drifturile de etaj sunt puternic influențate de regimul de înălțime al clădirilor și deci valoarea limită de drift de 2,5% poate corespunde în cazul structurilor de beton armat cu regim mediu și mare de înălțime unei stări de avariere extinsă – completă, iar pentru structurile de beton armat cu regim mic de înălțime poate corespunde unei stări de avariere moderat – extinsă.

Tabel 6.1 Driftul median asociat diferitelor stări de avariere pentru clădiri proiectate folosind un cod seismic avansat (HAZUS, 2012)

Cod tipologie structurală	Drift median de etaj în funcție de starea de avariere			
	Avarii ușoare	Avarii moderate	Avarii extinse	Avarii complete
C1L	0,0050	0,0100	0,0300	0,0800
C1M	0,0033	0,0067	0,0200	0,0533
C1H	0,0025	0,0050	0,0150	0,0400
C2L	0,0040	0,0100	0,0300	0,0800
C2M	0,0027	0,0067	0,0200	0,0533
C2H	0,0020	0,0050	0,0150	0,0400
PC2L	0,0040	0,0080	0,0240	0,0700
PC2M	0,0027	0,0053	0,0160	0,0467
PC2H	0,0020	0,0040	0,0120	0,0350
RM1L	0,0040	0,0080	0,0240	0,0700
RM1M	0,0027	0,0053	0,0160	0,0467
RM2L	0,0040	0,0080	0,0240	0,0700
RM2M	0,0027	0,0053	0,0160	0,0467
RM2H	0,0020	0,0040	0,0120	0,0350
URML	-	-	-	-
URMM	-	-	-	-

Experiența cutremurelor din Noua Zeelandă din anul 2011 din zona Christchurch, precum și a cutremurului Kaikoura din 2016 a afectat un fond construit proiectat conform unor reguli aplicate în întreaga lume, inclusiv în România. Printre principalele observații rezultate în urma acestor cutremure, se pot menționa:

- Districtul comercial din Christchurch a fost închis timp de 2 ani după cutremurul din februarie 2011, iar costul de reconstrucție a fost estimat ca fiind în jur de 10% din PIB (Parker și Steenkamp, 2012).
- Peste 150000 de clădiri din Christchurch (în jur de $\frac{3}{4}$ din fondul construit existent la data cutremurului) au fost avariate. Pentru în jur de 20% dintre acestea, pagubele au depășit 100000 \$ (Parker și Steenkamp, 2012).
- Peste 1200 de clădiri din zona centrală a Christchurch-ului au fost demolate în urma cutremurului (Bech et al. 2014).
- Nu au fost raportate avarii la sistemul de distribuție a gazelor naturale din Christchurch (Kongar et al. 2017). De asemenea, nici rețeaua de distribuție a apei potabile nu a fost afectată decât într-o proporție foarte redusă de cutremur. În cazul rețelei de electricitate, avariile au fost mai extinse. Astfel, 50% dintre clienți au avut energie electrică în aceeași zi, iar 75% dintre clienți au avut curent electric între 4 zile și 2 săptămâni de la producerea seismului din Februarie 2011. Rezultatele analizelor folosind metodologia HAZUS (2012) tind să supraestimeze nivelul observat de avariere.
- Absența unui ghid pentru efectuarea lucrărilor de reparații după cutremur, precum și lipsa de claritate în ceea ce privește definirea diverselor grade de avariere a dus la întâzieri în ceea ce privește reconstrucția post-cutremur (Marquis et al. 2017). Numărul mare de clădiri demolate după cutremur se datorează și structurii industriei de asigurare re-asigurare din Noua Zeelandă, precum și lipsei de claritate a legislației. Astfel, datorită valorii reduse asigurate lucrările de reparație nu erau fezabile din punct de vedere economic și deci muți investitori au acceptat o sumă de bani, precum și demolarea clădirilor.
- Valoarea franșizei este în jur de 2,5% - 5% din valoarea pagubelor economice, comparativ cu 15% - 20% în California sau Canada (Kim et al. 2017). O altă situație remarcată de (Kim et al. 2017) se referă la nivelul de rezistența laterală la care trebuie să ajungă o clădire avariata de cutremur. Curtea Supremă din Noua Zeelandă a decis în 2014 că proprietarii și asiguratorii trebuie să asigure un nivel minim de rezistență de 34% (comparativ cu 67% cât a decis Consiliul Local din Christchurch după cutremurul din septembrie 2010). Nivelul forței seismice pentru zona Christchurch a fost crescut cu 36% după cutremurul din februarie 2011 (Kim et al. 2017). Autorii au mai remarcat faptul că peste 40% dintre clădirile cu grad de avariere mai mic de 10% au fost demolate.
- Analiza efectelor cutremurului din februarie 2011 duce la concluzia că este nevoie de o creștere a cerințelor de performanță pentru structuri noi și într-o mai mică măsură pentru structuri existente. ***Acest lucru nu se poate face decât prin***

creșterea coeficienților seismice sau a nivelului accelerației de proiectare (Kam și Pampanin, 2011).

- Este nevoie de o comunicare mult mai bună și mai eficientă între proiectanți, arhitecți, proprietari și ocupanți în ceea ce privește obiectivele de performanță asociate proiectării unei structuri, precum și în ceea ce privește comportarea acesteia la cutremur (Baird și Ferner, 2017).
- Peste jumătate din pierderile asigurate în urma cutremurului Kaikoura din 2016 se datorează clădirilor din Wellington și în special elementelor nestructurale. Observația anterioară referitoare la demolarea unor clădiri care au suferit doar avarii reduse și moderate a fost observată și în cazul orașului Wellington ca urmare a cutremurului Kaikoura. Cu toate că accelerația maximă a terenului din zona Wellington est inferioară accelerației de proiectare, s-au observat înregistrări la mai multe stații ale căror amplitudini spectrale au depășit valorile de proiectare în special în domeniul perioadelor $T = 1 - 3$ s (Bradley et al. 2017). Deci este evident că nivelul ridicat al avariilor s-a datorat unor cerințe de deplasare semnificative induse de cutremur (situație similară cu Bucureștiul).

Activitatea 7 – Evaluarea răspunsului seismic pentru construcții noi

7.1 Evaluarea răspunsului seismic ale unor structuri noi din metal si din beton armat la acțiunea cutremurelor vrâncene

În cele ce urmează, este prezentată evaluarea răspunsului seismic al unor structuri noi de beton armat și de metal sub acțiunea unor mișcări seismice produse de cutremure de adâncime intermediară produse de sursa Vrancea. Astfel, au fost proiectate un număr de 24 de clădiri din beton armat și metalice care au diferite structuri de rezistență. Structurile analizate sunt dublu simetrice și au un regim de înălțime de P+4E, P+6E, P+9E și respectiv P+12E. Înălțimea tuturor etajelor este de 3.0 m. Planul de etaj curent este prezentat în Figura 7.3 pentru structurile în cadre de beton armat cu regim de înălțime P+4E, P+6E și P+9E, în Figura 7.4 pentru structurile cu pereți de beton armat având P+9E și P+12E, precum și în Figura 7.5 pentru structurile metalice cu cadre contravântuite centric cu regim de înălțime P+6E, P+9E și P+12E. Aceeași structură a fost proiectată conform prescripțiilor din codul de proiectare seismică în vigoare (codul P100-1/2013) pentru clasa de ductilitate înaltă și pentru trei niveluri ale accelerației maxime a terenului, și anume 0,24 g (acelerația corespunzătoare unei probabilități de depășire de 39% în 50 de ani sau unei perioade medii de revenire de 100 ani), 0,30 g (acelerația corespunzătoare unei probabilități de depășire de 20% în 50 de ani sau unei perioade medii de revenire de 225 ani) și respectiv 0,36 g (acelerația corespunzătoare unei probabilități de depășire de 10% în 50 de ani sau unei perioade medii de revenire de 475 ani).

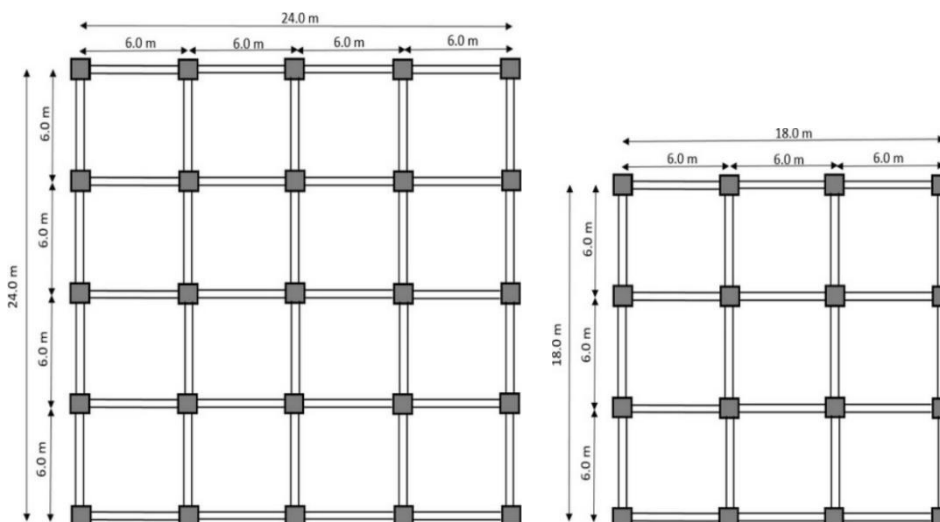


Figura 7.3 Plan de etaj curent pentru structurile în cadre de beton armat cu P+4E (stânga) și P+6E și P+9E (dreapta)

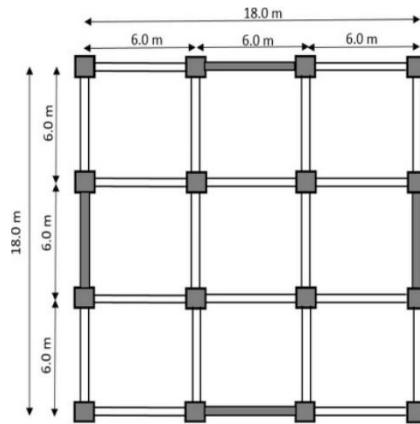


Figura 7.4 Plan de etaj curent pentru structurile cu pereți de beton armat cu P+9E și P+12E

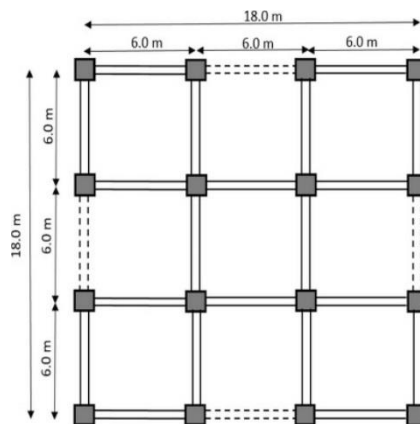


Figura 7.5 Plan de etaj curent pentru structurile metalice cu contravântuiri centrice cu P+6E, P+9E și P+12E

Valorile accelerației maxime a terenului corespund diferitelor generații de coduri de proiectare și anume: 0,24 g a reprezentat accelerația de proiectare pentru București din codul P100-1/2006, 0,30 g este accelerația de proiectare din codul seismic actual, iar 0,36 g reprezintă accelerația de proiectare corespunzătoare perioadei medii de revenire a acțiunii seismice folosite la nivel european. Ca materiale, în cazul structurilor de beton armat s-a utilizat beton clasa C30/37 și armătura marca S500, iar la structurile metalice s-a utilizat oțel marca S275.

Pentru analiza răspunsului seismic al celor 24 de structuri au fost utilizate două proceduri dezvoltate recent în literatură. Prima metodologie, numită SPO2FRAG (Baltzopoulos et al. 2017) și care se bazează pe idealizarea curbei pushover și pe determinarea curbei IDA (incremental dynamic analysis) prin algoritmul SPO2IDA (Vamvatsikos și Cornell, 2006). Cea de-a doua metodologie, denumită FRACAS (Rossetto et al. 2016) se bazează pe analize dinamice neliniare ale unor sisteme echivalente cu un grad de libertate dinamică. Pentru analiza de fragilitate a celor 24 de structuri analizate, s-au efectuat în primul pas analizele statice neliniare în programul STERA 3D. Elementele structurale au fost modelate cu articulații plastice punctuale la capetele elementelor. Placa de beton armat a fost considerată ca fiind rigidă în planul ei. În calculele statice neliniare s-au considerat rezistențele medii ale materialelor, iar rezistența la întindere a betonului a fost neglijată. Modelul histeretic utilizat

În analiză ține cont de degradarea de rezistență, de degradarea de rigiditate, precum și de lunecarea armăturii. În pasul următor al analizei, curbele pushover (forță tăietoare de bază vs. deplasare la vârf) au fost biliniarizate și utilizate în cadrul analizelor de fragilitate efectuate utilizând cele două metodologii mai-sus menționate. În programul FRACAS (Rossetto et al. 2016) s-au folosit ca input 20 de componente orizontale reprezentative înregistrate în zona Bucureștiului în timpul cutremurelor vrâncene din 4 martie 1977 (magnitudine moment $M_W = 7,4$ și adâncime de focar $h = 94$ km), 30 august 1986 ($M_W = 7,1$ și $h = 131$ km) și respectiv 30 mai 1990 ($M_W = 6,9$ și $h = 94$ km).

Funcțiile de fragilitate sunt reprezentate în continuare în Figura 7.5 – Figura 7.7 pentru fiecare clasă de structuri (cadre de beton armat, structuri cu pereți de beton armat și cadre metalice contravântuite centric) pentru fiecare dintre cele patru stări de avariere.

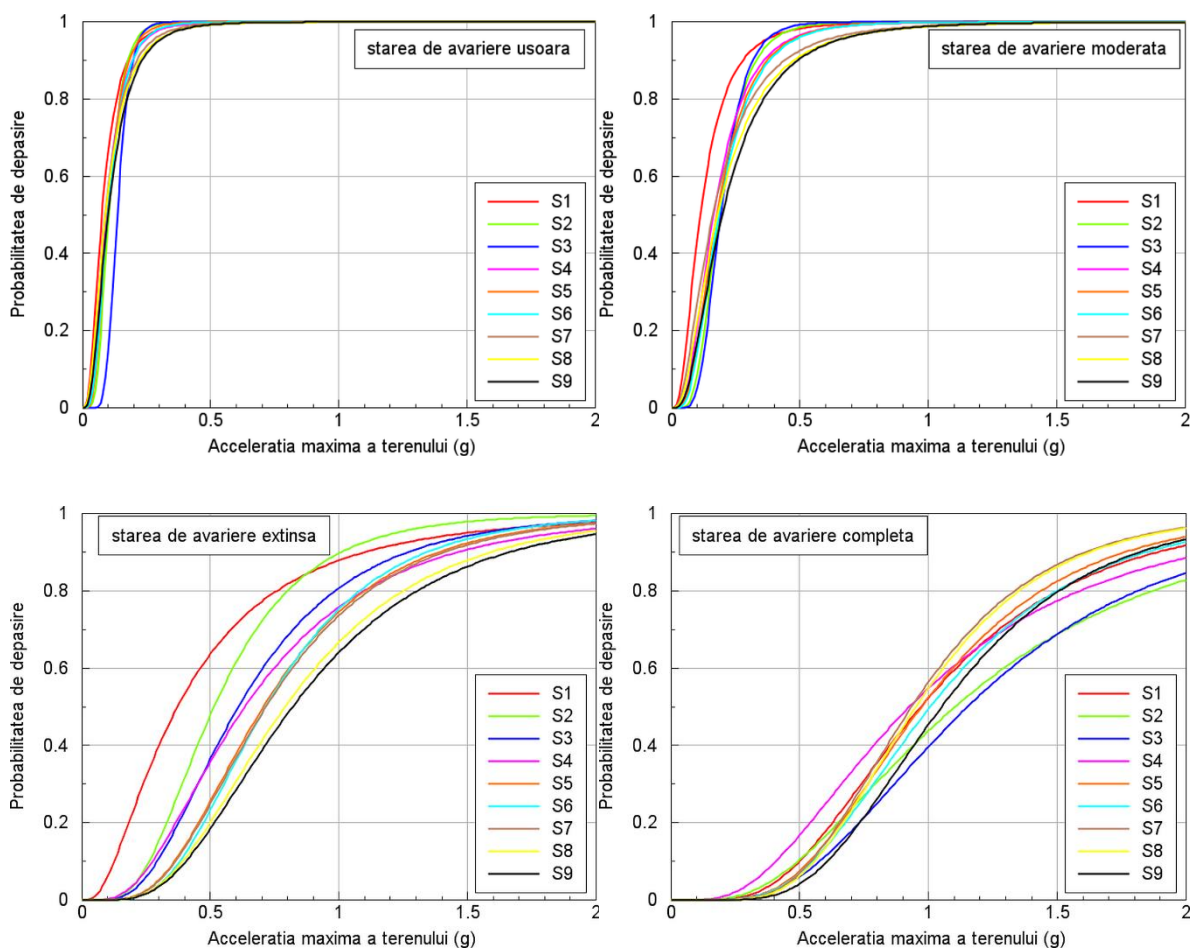


Figura 7.6 Funcții de fragilitate pentru cele patru stări de avariere și pentru structurile în cadre de beton armat

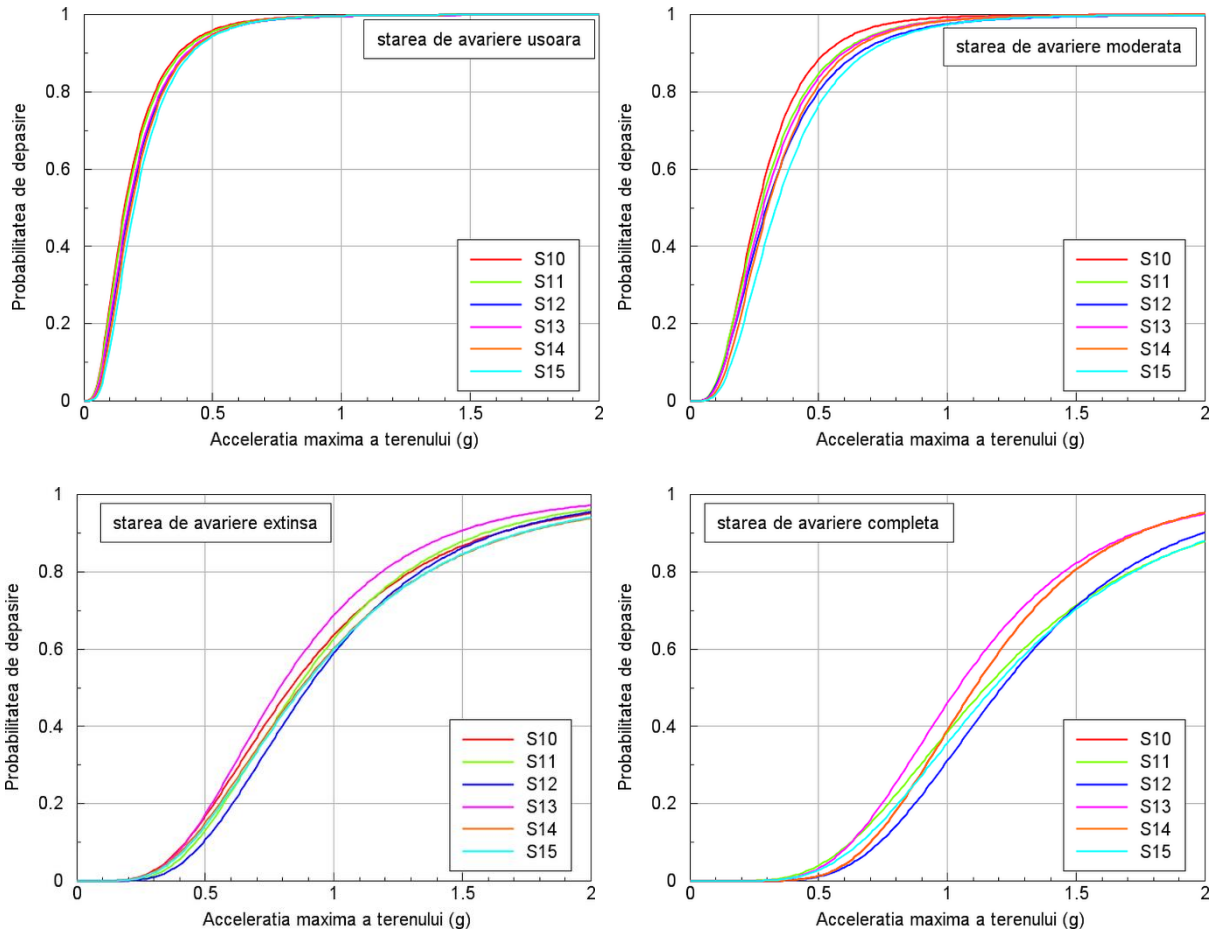
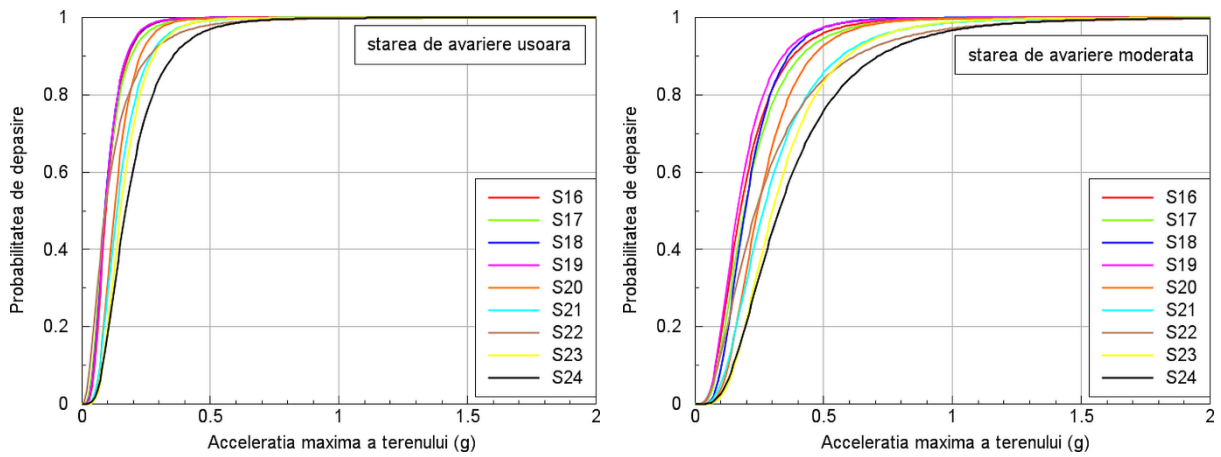


Figura 7.7 Funcții de fragilitate pentru cele patru stări de avariere și pentru structurile cu pereți de beton armat



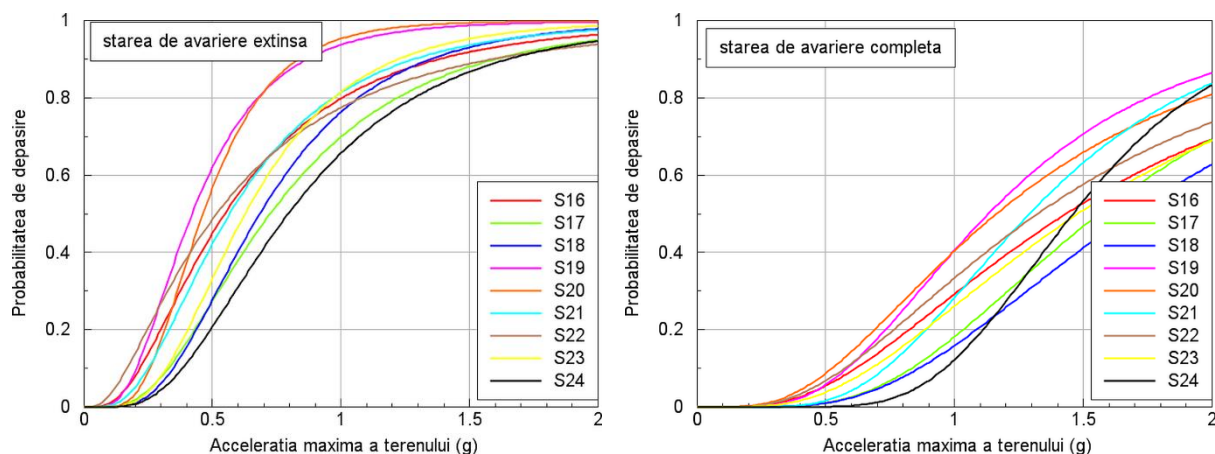


Figura 7.8 Funcții de fragilitate pentru cele patru stări de avariere și pentru structurile metalice contravântuite centric

Pe baza analizei de fragilitate efectuată pe cele 24 de structuri, s-au putut defini șase tipologii generice și anume: RCF-MR (structuri în cadre de beton armat cu regim mediu de înălțime), RCF-HR (structuri în cadre de beton armat cu regim mare de înălțime), RCW-MR (structuri cu pereți de beton armat cu regim mediu de înălțime), RCW-HR (structuri cu pereți de beton armat cu regim mare de înălțime), SCBF-MR (cadre metalice cu contravântuiri centrice și regim mediu de înălțime) și SCBF-HR (cadre metalice cu contravântuiri centrice și regim mare de înălțime). Parametrii funcțiilor de fragilitate de tip lognormal în funcție de accelerați maximă a terenului (valoare mediană și abatere standard) pentru cele șase tipologii generice sunt prezentate în Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Parametrii (valoarea mediană și abatere standard a logaritmului) funcțiilor de fragilitate pentru cele șase tipologii generice. Parametrul de intensitate a mișcării seismice este accelerația maximă a terenului

Structura	Stare de avariere							
	Avarii ușoare		Avarii moderate		Avarii extinse		Avarii complete	
	Mediană	Abatere std.	Mediană	Abatere std.	Mediană	Abatere std.	Mediană	Abatere std.
RCF-MR	0.092	0.538	0.159	0.588	0.557	0.637	0.993	0.562
RCF-HR	0.090	0.692	0.170	0.774	0.753	0.537	0.943	0.421
RCW-MR	0.160	0.661	0.268	0.566	0.844	0.504	1.126	0.415
RCW-HR	0.178	0.636	0.293	0.565	0.830	0.510	1.072	0.375
SCBF-MR	0.092	0.546	0.184	0.597	0.637	0.669	1.497	0.574
SCBF-HR	0.115	0.565	0.236	0.584	0.507	0.605	1.274	0.600

Activitatea 8 - Impactul obiectivelor de performanță ale comunității asupra construcțiilor noi

8.1 Impactul obiectivelor de performanță ale comunității asupra proiectării structurilor noi din metal și beton armat

Pentru fiecare dintre cele 24 de structuri analizate, a fost efectuată o analiză a nivelului de avariere folosind un catalog de tip Monte-Carlo pentru sursa seismică de adâncime intermediară Vrancea. Catalogul seismic de tip Monte-Carlo a fost utilizat în studiul lui Pavel et al. (2017a), are o durată de 50000 de ani și conține în jur de 13000 evenimente seismice cu magnitudini moment $M_w \geq 6,0$.

Pentru fiecare dintre cele 13894 de evenimente seismice individuale din catalogul simulat pentru sursa seismică de adâncime intermediară Vrancea s-a determinat probabilitatea de a fi într-una dintre cele cinci stări de avariere (inclusiv neavariat). Pentru fiecare dintre cele 24 de structuri analizate au rezultat câte două seturi de grade medii de avariere în funcție de metodologia folosită pentru determinarea funcțiilor de fragilitate. Gradele medii de avariere obținute prin medierea tuturor rezultatelor în funcție de magnitudinea cutremurului și de metodologia de evaluare a fragilității sunt ilustrate în Figura 8.1. O serie de rezultate mai detaliate sunt ilustrate în Figura 8.2. **Error! Reference source not found.** în care gradele medii de avariere sunt diferențiate pe fiecare clasă de structuri. Cele 24 de structuri pot fi împărțite în câte opt clase, fiecare clasă conținând câte trei structuri proiectate pentru trei valori ale accelerației de proiectare (0,24 g, 0,30 g și 0,36 g).

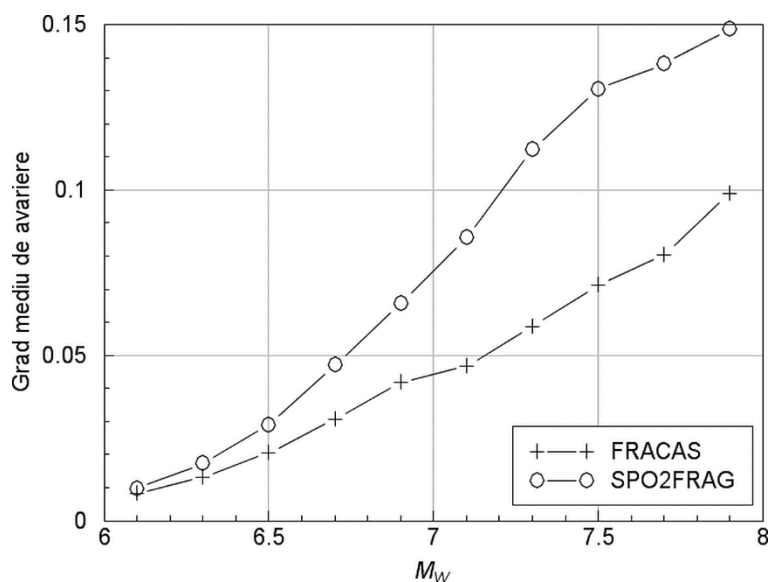


Figura 8.1 Grad mediu de avariere în funcție de magnitudinea cutremurului și în funcție de metodologia folosită pentru determinarea funcțiilor de fragilitate

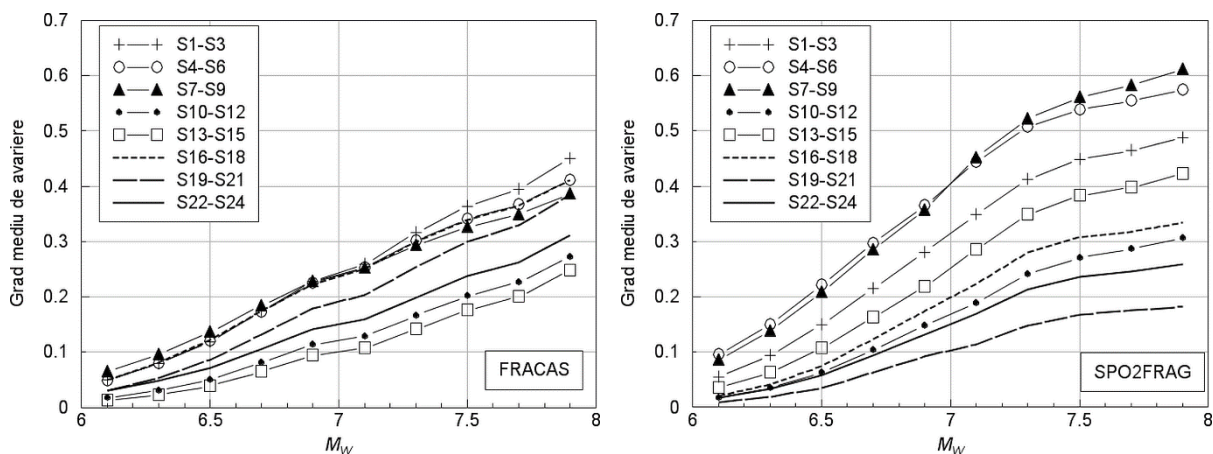


Figura 8.2 Grad mediu de avariere în funcție de magnitudinea cutremurului și în funcție de clasa de structuri folosind fragilitatea determinată din FRACAS (stânga) și din SPO2FRAG (dreapta)

Ordaz et al. (2017) au propus o metodă pentru determinarea valorii optime a coeficientului seismic care trebuie folosit la proiectarea structurilor noi. Această metodă are ca obiectiv principal minimizarea pagubelor economice suferite de clădire pe durata de viață a acesteia. Hazardul seismic este inclus în această analiză prin intermediul curbelor de hazard corespunzătoare perioadei fundamentale a structurii analizate. Perioada medie de revenire optimă și coeficientul seismic optim conform metodologiei lui Ordaz et al. (2017) sunt ilustrate în Figura 8.3. Se poate vedea foarte clar faptul că o valoare optimă a unui coeficient seismic este cuprinsă între 0,1 – 0,3 din greutatea totală a structurii, valori mai mici fiind obținute pentru perioade spectrale lungi și factori de comportare q mai mici. Oricum, este evident faptul că o nouă creștere a nivelului de forțe seismice folosit în proiectare este benefică atât din punct de vedere economic, cât și din punct de vedere al comportării seismice ale acestora.

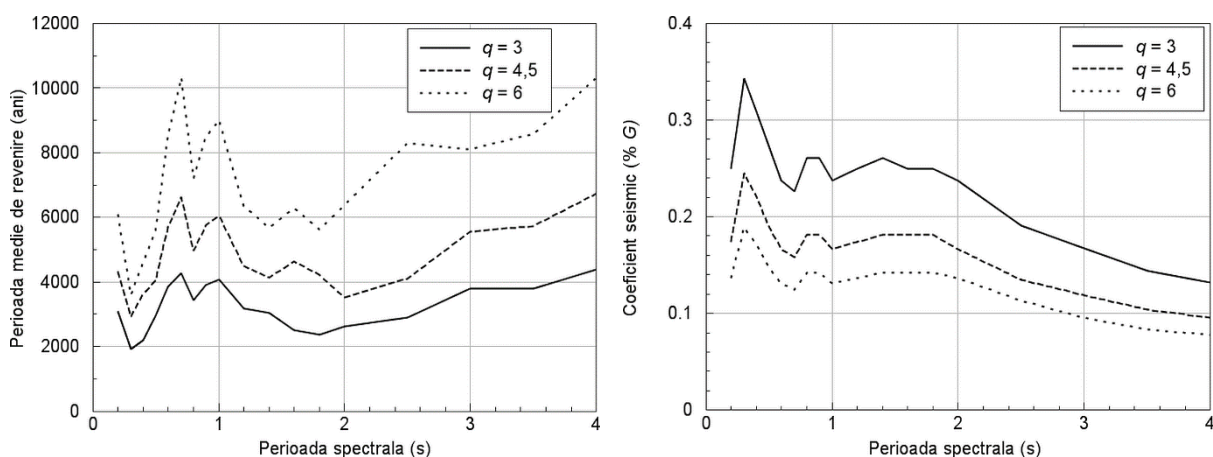


Figura 8.3 Perioada medie de revenire optimă și coeficientul seismic optim în funcție de perioada spectrală conform metodologiei lui Ordaz et al. (2017)

Activitatea 9 - Diseminarea rezultatelor la conferințe și în reviste tehnice naționale sau internaționale. Diseminarea rezultatelor prin pagina web a proiectului

Diseminarea rezultatelor proiectului de cercetare COBPEE s-a făcut prin participarea la șapte conferințe, dintre care cinci au fost conferințe internaționale. Prima conferință internațională, numită International Conference on Urban Risk (ICUR 2016) a avut loc în perioada 30 iunie – 2 iulie 2016 la Lisabona (Portugalia). Cea de-a doua conferință internațională intitulată 35th General Assembly of the European Seismological Commission (35 ESC) a avut loc între 4 și 10 septembrie 2016 la Trieste (Italia). A treia conferință internațională la care membrii echipei au participat este cea de-a șaisprezecea Conferință Mondială de Inginerie Seismică (16th World Conference on Earthquake Engineering) care a avut loc la începutul lunii ianuarie 2017 în Santiago, Chile. Cea de-a patra conferință internațională numită “3rd International Conference on Protection of Historical Constructions” (Prohitech ‘17) a avut loc în perioada 12 iulie – 15 iulie 2016 la Lisabona (Portugalia), iar cea de-a treia conferință internațională cu denumirea “12th International Conference on Structural Safety & Reliability” s-a ținut la Viena (Austria) în perioada 6 – 10 august 2017. Participarea la Conferința Națională a AICPS (Asociația Inginerilor Constructori Proiectanți de Structuri) din data de 3 iunie 2016 a presupus susținerea unei prezentări orale, intitulată „Noi perspective și rezultate ale analizei de risc seismic pentru București”. De asemenea, membrii echipei de proiect au participat cu articole la cea de-a șasea Conferință Națională de Inginerie Seismică și cea de-a doua Conferință Națională de Inginerie Seismică și Seismologie (6CNIS & 2CNIS) care a avut loc la București în perioada 14 – 16 iunie 2017.

Articole în jurnale internaționale cu recenzori

1. Pavel, F., Văcăreanu, R. (2016) Scaling of ground motions from Vrancea (Romania) earthquakes. *Earthquakes and Structures*, 11(3): 505-516.
2. Pavel, F. (2016) Next Future Large Earthquake in Romania: A Disaster Waiting to Happen? *Seismological Research Letters*, 88(1), DOI: 10.1785/0220160140.
3. Pavel, F., Văcăreanu, R. (2016) Scenario-based earthquake risk assessment for Bucharest, Romania. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20:138-144.
4. Pavel F, Văcăreanu R (2016) Spatial correlation of ground motions from Vrancea (Romania) intermediate-depth earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, DOI: 10.1785/0120160095.
5. Pavel, F., Văcăreanu, R. (2017) Ground motion simulations for seismic stations in southern and eastern Romania and seismic hazard assessment. *Journal of Seismology*, DOI: 10.1007/s10950-017-9649-1.
6. Pavel, F., Văcăreanu, R., Calotescu, I., Săndulescu, A.M., Arion, C., Neagu, C. (2017) Impact of spatial correlation of ground motions on seismic damage for residential buildings in Bucharest, Romania. *Natural Hazards*, 87: 1167-1187.

7. Pavel, F. (2017) Investigation on the variability of simulated and observed ground motions for Bucharest area. *Journal of Earthquake Engineering*, DOI: 10.1080/13632469.2017.1297266.
8. Pavel, F., Văcăreanu, R., Calotescu, I., Săndulescu, A.M. (2017) Assessment of seismic risk scenarios for Bucharest, Romania. *Natural Hazards*, DOI: 10.1007/s11069-017-2991-3.
9. Pavel, F., Văcăreanu, R. (2017) Investigation on regional attenuation of Vrancea (Romania) intermediate-depth earthquakes. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* (acceptat).

Articole în jurnale naționale

1. Pavel, F., Văcăreanu, R., Calotescu, I., Săndulescu, A.M. (2016) Noi perspective și rezultate ale analizelor de hazard și risc seismic pentru municipiul București. *AICPS Review*, vol. 4, 40-51.

Articole în volumele unor conferințe internaționale

1. Pavel, F., Calotescu, I., Văcăreanu, R. (2016). Evaluation of ground motion variability in Bucharest from Vrancea intermediate-depth earthquakes. *Proceedings of the International Conference on Urban Risk, ICUR 2016, Lisabona, Portugalia*, paper no. 146.
2. Pavel, F., Calotescu, I., Văcăreanu, R., Săndulescu, A.M., (2016). Derivation of scenario earthquakes for Bucharest, Romania. *Proceedings of the International Conference on Urban Risk, ICUR 2016, Lisabona, Portugalia*, paper no. 145.
3. Calotescu, I., Pavel, F., Săndulescu, A.M., Sibișteanu H., Văcăreanu, R., (2016). Preliminary investigation on community resilience of Bucharest, Romania. *Proceedings of the International Conference on Urban Risk, ICUR 2016, Lisabona, Portugalia*, paper no. 142.
4. Pavel, F., Văcăreanu, R. (2016) Investigation on the seismic risk of Bucharest, Romania. *Proceedings of the 35th General Assembly of the European Seismological Commission, Trieste, Italia*, paper no. 370.
5. Pavel, F., Calotescu, I., Văcăreanu, R., Săndulescu, A.M., Sibisteanu H. (2016). Investigation on community resilience in Bucharest, Romania. *Proceedings of the 35th General Assembly of the European Seismological Commission, Trieste, Italia*, paper no. 372.
6. Văcăreanu, R., Pavel, F., Crăciun, I., Aldea, A., Calotescu, I. (2017) Correlation models for strong ground motions from Vrancea intermediate-depth seismic source. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile*, paper no. 2026.
7. Pavel, F., Văcăreanu, R., Calotescu, I., Colibă, V. (2017) Design displacement response spectra for southern and eastern Romania. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile*, paper no. 1926.

8. Pavel, F., Calotescu, I., Văcăreanu, R. (2017) Seismic damage and loss estimation for Bucharest, Romania. Proceedings of the 3rd International Conference on Protection of Historical Constructions Prohitech '17, Lisabona, Portugalia, paper no. 115.
9. Calotescu, I., Pavel, F., Săndulescu, A.M., Sibișteanu, H., Văcăreanu, R. (2017) Evaluation of seismic damage from questionnaire results. Proceedings of the 3rd International Conference on Protection of Historical Constructions Prohitech '17, Lisabona, Portugalia, paper no. 134.
10. Pavel, F., Văcăreanu, R., Colibă, V., Calotescu, I. (2017) Life-cycle seismic loss assessment for RC frame structures in Bucharest, Romania. Proceedings of the 12th International Conference on Structural Safety & Reliability ICOSSAR 2017, Viena, Austria, paper no. 7521.
11. Calotescu, I., Pavel, F., Văcăreanu, R. (2017) Community seismic resilience for Bucharest, Romania: public survey results. Proceedings of the 12th International Conference on Structural Safety & Reliability ICOSSAR 2017, Viena, Austria, paper no. 8070.

Articole în volumele unor conferințe naționale

1. Pavel, F., Ciuiu, D., Văcăreanu, R. (2016). Site-dependent seismic hazard assessment for Bucharest based on stochastic simulations. In Văcăreanu, R., Ionescu, C. (ed.): The 1940 Vrancea earthquake. Issues, insights and lessons learnt. Springer Natural Hazards, pp. 221-233.
2. Crăciun, I., Văcăreanu, R., Pavel, F. (2017) On the ground motions spatial correlation for Vrancea intermediate-depth earthquakes. În: Pavel, F., Radulian, M., Arion, C., Popa, M., Aldea, A. (ed.) Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, București, România, pp. 79-86.
3. Calotescu, I., Pavel, F. (2017). Earthquake risk awareness in Bucharest, Romania: public survey. În: Pavel, F., Radulian, M., Arion, C., Popa, M., Aldea, A. (ed.) Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, București, România, pp. 225-232.
4. Colibă, V., Văcăreanu, R., Pavel, F., Crăciun, I. (2017) Uniform risk-targeted seismic design maps for Romania. În: Pavel, F., Radulian, M., Arion, C., Popa, M., Aldea, A. (ed.) Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, București, România, pp. 249-256.
5. Pavel, F., Văcăreanu, R., Arion, C., Neagu, C., Calotescu, I. (2017) Recent developments regarding seismic risk and resilience assessment for Bucharest, Romania. În: Pavel, F., Radulian, M., Arion, C., Popa, M., Aldea, A. (ed.) Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, București, România, pp. 367-373.

6. Pavel, F., Văcăreanu, R. (2017) Evaluation of feasibility of pre-earthquake strengthening of RC buildings in Bucharest, Romania. În: Pavel, F., Radulian, M., Arion, C., Popa, M., Aldea, A. (ed.) Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, București, România, pp. 375-382.
7. Văcăreanu, R., Pavel, F., Colibă, V., Crăciun, I. (2017) Risk-targeted seismic design maps for Romania. În: Pavel, F., Radulian, M., Arion, C., Popa, M., Aldea, A. (ed.) Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, București, România, pp. 453-460.

Prezentări susținute în cadrul conferințelor naționale

1. Pavel, F., Văcăreanu, R., Calotescu, I., Crăciun, I. (2016). Noi perspective si rezultate ale analizei de risc seismic pentru București. Cea de-a XXVI-a Conferință Națională AICPS “Probleme practice ale activității de proiectare în sistemul legislativ și economic curent.”

Pagina web a proiectului a fost actualizată în mod constant cu informații referitoare la articolele publicate în cadrul proiectului. Totodată, pe site se găsește un raport preliminar conținând rezultatele sondajului de opinie desfășurat în cursul anului 2016. De asemenea, tot pe site se găsește și un raport științific intermediar cu rezultatele din Fazele aferente anilor 2015 și 2016. Raportul final al proiectului, conținând și rezultatele aferente Fazei 2017 este de asemenea disponibil pe site.

Concluzii și recomandări finale

Pe lângă rezultatele prezentate pe scurt în cadrul acestui raport final, mai trebuie menționate și alte rezultate, precum:

- Dezvoltarea unei relații de atenuare pentru municipiul București folosind atât înregistrări obținute în timpul unor cutremure vrâncene de adâncime intermediară, cât și înregistrări simulate. Această parte a cercetării va fi publicată spre sfârșitul anului într-un volum Springer Brief.
- Evaluarea fezabilității economice a consolidării clădirilor de beton armat cu regim mare de înălțime din București (articol prezentat în cadrul 6CNIS & 2CNIS).
- Evaluarea condițiilor de teren pentru diferite stații seismice din partea de sud și de est a României (articol în Journal of Seismology).
- Evaluarea variabilității mișcărilor seismice observate și a celor simulate pentru zona Bucureștiului (articol în Journal of Earthquake Engineering).
- Evaluarea cerințelor de deplasare impuse de cutremure vrâncene pentru București (articol prezentat în cadrul 16WCEE).
- Dezvoltarea modelelor de corelație spațială a mișcării seismice pentru sursa Vrancea (articole în Bulletin of the Seismological Society of America și articol prezentat în cadrul 6CNIS & 2CNIS).
- Dezvoltarea pentru prima dată a unor hărți de risc uniform la nivel național (articole prezentate în cadrul 6CNIS & 2CNIS).

Prin rezultatele obținute în cadrul proiectului concretizate în aproape 30 de publicații, s-a reușit crearea unei imagini asupra nivelului de risc și reziliență seismică pentru clădirile rezidențiale din București, precum și o imagine a nivelului de pregătire al populației în cazul unui cutremur major. De asemenea, așteptările populației în ceea ce privește nivelul de avariere a putut fi pus în oglindă cu rezultatele analizelor de risc seismic efectuate. Principala concluzie a proiectului este faptul că există o discrepanță semnificativă între ceea ce așteaptă populația de la clădiri și autorități în caz de cutremur și comportarea așteptată de ingineri, precum și capacitățile de intervenție ale autorităților. Totodată, simulările mișcărilor seismice pentru București reprezintă o soluție viabilă care poate suplimenta baza existentă de mișcări seismice înregistrate și care pot fi utilizate în cadrul unor analize mai complexe de risc și reziliență seismică. Validarea celor mai importante rezultate din cadrul proiectului prin publicarea acestora în cadrul unor reviste internaționale de renume cu recenzori reprezintă un alt rezultat notabil al acestui proiect. Astfel, rezultatele referitoare la analizele de risc și reziliență seismică, precum și rezultatele referitoare la simularea stochastică a mișcărilor seismice care au reprezentat două dintre cele mai importante activități din cadrul proiectului au fost publicate într-o serie de jurnale internaționale de renume. Totodată, o parte dintre rezultatele proiectului au fost utilizate în cadrul unei cărți publicate în anul 2017 de către doi dintre membrii echipei de proiect. Și nu în ultimul rând, rezultate din cadrul proiectului au fost utilizate în cadrul tezei de doctorat a drd. ing. Ana-Maria Săndulescu.

Printre măsurile urgente care se impun înainte de producerea viitorului cutremur de magnitudine mare sunt:

- Este nevoie urgentă de o transparență mult mai mare din partea inginerilor vis-a-vis de comportarea reală a clădirilor în caz de cutremur. Totodată, experiența ultimelor cutremure din Italia, Noua Zeelandă, Chile, etc. trebuie preluată și folosită în scopul dezvoltării unei societăți cât mai reziliente.
- Creșterea capacităților de intervenție (mijloace tehnice și personal) ale autorităților în caz de cutremur.
- Pregătirea unor voluntari în toate zonele țării care să fie capabili să acționeze imediat după cutremur, până la intervenția autorităților.
- Concentrarea politicii de consolidare și reabilitare a clădirilor spre clădiri publice care adăpostesc un număr mare de oameni.
- Implicarea comunităților în campaniile de conștientizare și reducere a riscului seismic.
- Implicarea activă a mass-media în campaniile de conștientizare și reducere a riscului seismic (și nu doar o implicare punctuală, așa cum este cazul acum).
- Transferarea responsabilității consolidării clădirilor proprietate privată de la Guvern către proprietarii acestora.
- Evaluarea cât mai urgentă a riscului și rezilienței seismice corespunzătoare rețelelor de utilități atât la nivelul Bucureștiului, cât și la nivelul țării.
- Creșterea nivelului de performanță al structurilor noi în viitorul cod de proiectare seismică. Pentru realizarea acestui deziderat o primă variantă care este fezabilă și din punct de vedere economic este creșterea nivelului accelerațiilor de proiectare. Totodată, o abordare similară cu cea din codul american de proiectare seismică, în care valorile de proiectare ale accelerațiilor sunt bazate atât pe rezultatele analizelor de hazard uniform, cât și pe rezultatele analizelor de risc uniform apare mai mult decât oportună. Rezultatele preliminare obținute în cadrul proiectului COBPE confirmă faptul că introducerea unei abordări bazate pe un nivel de risc uniform stabilit la nivelul întregii țări nu va introduce creșteri substanțial diferite de cele introduse de creșterea perioadei medii de revenire a acțiunii seismice de la valoarea actuală de 225 ani la valoarea adoptată la nivelul Europei de 475 ani. O altă soluție pentru realizarea dezideratului de creștere a nivelului de performanță structurală este scăderea driftului maxim de nivel asociat Stării Limite Ultime (SLU), cuplată totodată cu introducerea unor valori dependente de regimul de înălțime al construcției și eventual de tipul structurii. Introducerea unei a treia stări limite corespunzătoare unor cutremure mai puțin frecvente și pentru care ar trebui să se asigure funcționalitatea clădirii este un alt aspect care trebuie studiat în detaliu în viitor. Însă, nu trebuie uitat faptul că o nouă creștere a accelerației de proiectare va produce dificultăți și mai mari în proiectare. Situația părții de sud a României în care pe lângă valorile mari ale forțelor seismice de proiectare se întâlnesc și cerințe mari de deplasare, în special pentru clădiri cu regim mediu și mare de înălțime este

unică, cel puțin în Europa. Figura 9.1 și Figura 9.2 subliniază această situație în sensul că cerințele de deplasare induse de înregistrarea seismică de la INCERC din timpul cutremurului vrâncean din 4 mărite 1977 sunt mult superioare celor din zona Santiago (Chile) din timpul cutremurului Maule din 2010 sau celor din Wellington (Noua Zeelandă) din timpul cutremurului Kaikoura (2016). Deci, pentru viitoarea generație de cod de proiectare seismică din România, se impun analize avansate atât în ceea ce privește hazardul seismic, cât și în ceea ce privește zonarea condițiilor de teren cu impact direct asupra formei spectrelor de proiectare.

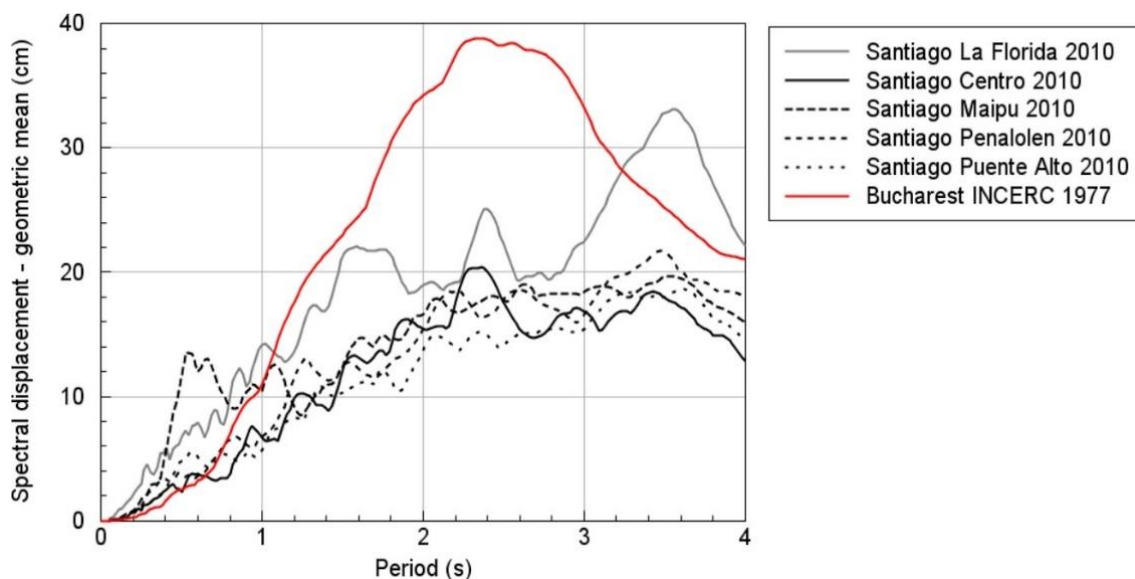


Figura 9.1 Comparare între spectrele de deplasare înregistrate în zona Santiago în timpul cutremurului Maule din Chile (2010) și spectrul de deplasare al înregistrării cutremurului vrâncean din 4 martie 1977 de la stația INCERC

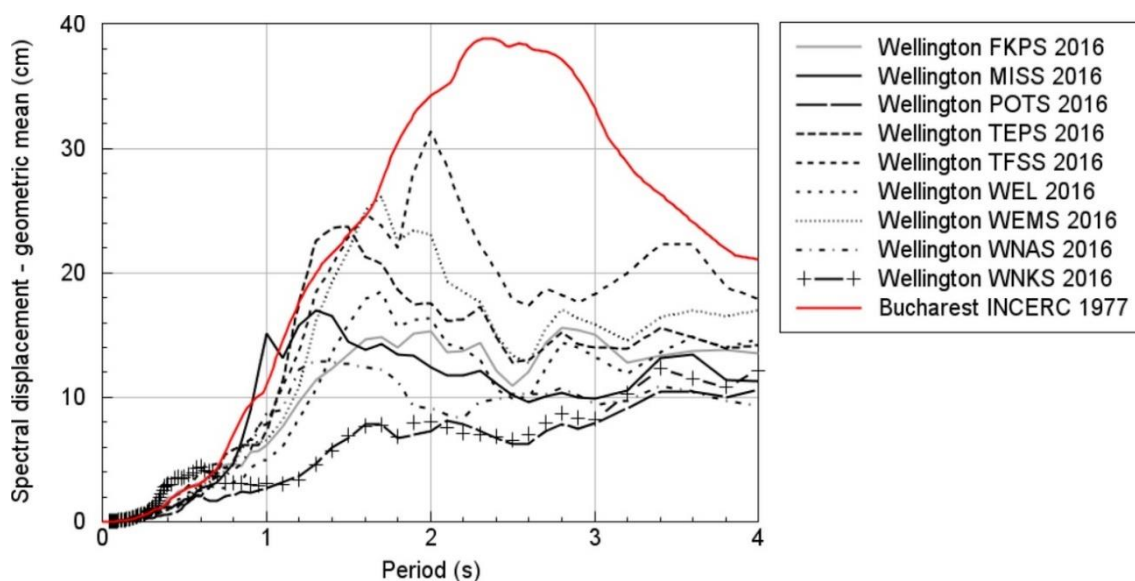


Figura 9.2 Comparare între spectrele de deplasare înregistrate în zona Wellington în timpul cutremurului Kaikoura din Noua Zeelandă (2016) și spectrul de deplasare al înregistrării cutremurului vrâncean din 4 martie 1977 de la stația INCERC

Membrii echipei de proiect doresc să mulțumească CNCS-UEFISCDI pentru finanțarea acestui proiect și totodată speră ca rezultatele din proiect să ajute la realizarea celui mai important deziderat al proiectului și anume la reducerea riscului seismic în București și la creșterea rezilienței seismice a comunității.

Referințe

1. ATC 40, (1996) Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council, Redwood City, California.
2. Avram C (1987) Istoria betonului armat din România, vol. 2. Ed. Tehnică, București, România.
3. Baltzopoulos, G., Baraschino, R., Iervolino, I., Vamvatsikos, D. (2017) SPO2FRAG: software for seismic fragility assessment based on static pushover. Bulletin of Earthquake Engineering DOI: 10.1007/s10518-017-0145-3.
4. Boore, D.M. (2005) SMSIM – Fortran programs for simulating ground motions from earthquakes: version 2.3 – a revision of OFR 96-80-A. U.S. Geological Survey report OFR 00–509.
5. COBPEE (2015) Raport Științific Contract PN-II-RU-TE-2014-4-0697 Etapa I – 2015.
6. COBPEE (2016) Raport Științific Contract PN-II-RU-TE-2014-4-0697 Etapa II – 2016.
7. COBPEE (2017) Raport Științific Contract PN-II-RU-TE-2014-4-0697 Etapa III – 2017.
8. Contantinescu L, Enescu D (1985) Cutremurele din Vrancea în cadru științific și tehnologic. Editura Academiei, București, România.
9. EN 1998-1:2004 (2004) Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance, Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, Bruxelles, Belgia, CEN.
10. Eurostat (2015) <http://ec.europa.eu/eurostat>
11. Federal Emergency Management Agency (2012) Multi-hazard loss estimation methodology. Earthquake model - HAZUS MH 2.1. Technical manual, Washington, SUA.
12. Institutul Național de Statistică (2013) Recensământul Populației și al Locuințelor 2011 <http://www.recensamantromania.ro/>
13. Kam, W.Y., Pampanin, S. (2011) The seismic performance of RC buildings in the 22 February 2011 Christchurch earthquake. Structural Concrete 12: 223-233.
14. Kim, J.J., Elwood, K.J., Marquis, F., Chang, S.E. (2017) Factors influencing post-earthquake decisions on buildings in Christchurch, New Zealand. Earthquake Spectra 33: 623-640.
15. Kongar, I., Esposito, S., Giovinazzi, S. (2017) Post-earthquake assessment and management for infrastructure systems: learning from the Canterbury (New Zealand) and L'Aquila (Italy) earthquakes. Bulletin of Earthquake Engineering 15: 589-620.
16. Marquis, F., Kim, J.J., Elwood, K.J., Chang, S.E. (2017) Understanding post-earthquake decisions on multi-storey concrete buildings in Christchurch, New Zealand. Bulletin of Earthquake Engineering 15: 731-758.
17. Mieler M, Stojadinovic B, Budnitz R, Comerio M, Mahin S (2015) A framework for linking community resilience goals to specific performance targets for the built environment. Earthquake Spectra 31(3): 1267-1283.
18. Motazedian, D., Atkinson, G.M. (2005) Stochastic finite-fault modeling based on a dynamic corner frequency. Bulletin of the Seismological Society of America 95:995-1010.
19. Ordaz, M., Salgado-Gálvez, M.A., Pérez-Rocha, L.E., Cardona, O.D., Mena-Hernández, U. (2017) Optimum earthquake design coefficients based on probabilistic seismic hazard analyses. Theory and applications. Earthquake Spectra, DOI: 10.1193/110116EQS189M.
20. Parker, M., Steenkamp, D., 2012. The economic impact of the Canterbury earthquakes major earthquakes. Reserve Bank of New Zealand: Bulletin 75: 13–25.
21. Pavel F, Ciuiu D, Văcăreanu R (2016a). Site-dependent seismic hazard assessment for Bucharest based on stochastic simulations. In Văcăreanu R, Ionescu C (ed.): The 1940 Vrancea earthquake. Issues, insights and lessons learnt. Springer Natural Hazards, pp. 221-233.

22. Primăria municipiului București (2015),
23. http://www.pmb.ro/servicii/alte_informatii/lista_imobilelor_exp/docs/Lista_imobilelor_expertizate.pdf
24. Rossetto, T., Gehl, P., Minas, S., Galasso, C., Duffour, P., Douglas, J., Cook, O. (2016) FRACAS: A capacity spectrum approach for seismic fragility assessment including record-to-record variability. *Engineering Structures* 125: 337-348.
25. Sandi, H., Borcia, I.S. (2011) A summary of instrumental data on the recent strong Vrancea earthquakes, and implications for seismic hazard. *Pure and Applied Geophysics* 168: 659-694.
26. Vamvatsikos, D., Cornell, C.A. (2006) Direct estimation of the seismic demand and capacity of oscillators with multi-linear static pushovers through IDA. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 35: 1097–1117.