

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Facultatea Construcții, Geodezie și Cadastru**

**Departamentul Inginerie Civilă și Geodezie**

**Admis la susținere:**

**Șef departament ICG, conf. univ., dr.**

\_\_\_\_\_ **A. Taranenco**

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ **2025**

**ANALIZA COMPORTAMENTULUI SEISMIC AL  
STRUCTURILOR DE TIP CADRU PRIN METODA TIME-  
HISTORY UTILIZÂND ÎNREGISTRĂRI DE CUTREMURE  
SIMULATE ȘI REALE**

**Teză de master**

**Student:** \_\_\_\_\_ **Racu Tudor, IS-2301M**

**Conducător:** \_\_\_\_\_ **Stașcov Mihail, lect. univ., dr.**

**Chișinău, 2025**

## **REZUMAT**

**Racu, Tudor. Analiza comportamentului seismic al structurilor de tip cadru prin metoda time-history utilizând înregistrări de cutremure simulate și reale.** În această lucrare se studiază răspunsul seismic al structurilor de tip cadru în baza simulărilor accelerogramelor seismelor reale și celor sintetic generate pe o structură dimensionată conform normativelor actuale din România. Se urmărește identificarea particularităților și vulnerabilităților acestor tipuri de structuri. Se utilizează analiza Time-History și calculul modal în baza accelerațiilor spectrale. Calculul structural se realizează în programul specializat ETABS. Analiza răspunsului seismic se realizează pe baza rezultatelor deplasărilor maxime, drift inter-etaj, spectre de răspuns de nivel, accelerații de nivel, diagrame de eforturi pe elemente, compararea cu limitele impuse de normative, etc.

Teza este compusă din introducere, 4 capitole, concluzii , bibliografie și anexe. Lucrarea conține 67 pagini(fără anexe), 70 figuri și 20 tabele. Bibliografia constă din 11 surse de referință. Anexele conțin 13 pagini, 3 tabele și 12 figuri.

**Cuvinte-cheie:** comportament seismic, structuri de tip cadru, metoda time-history.

## **SUMMARY**

**Racu, Tudor. Analysis of the seismic response of frame-type structures using the time-history method with simulated and real earthquake recordings.**

This study examines the seismic response of frame-type structures based on simulations of real earthquake accelerograms and synthetic accelerograms generated for a structure designed according to current Romanian standards. The research aims to identify the particularities and vulnerabilities of these types of structures. The analysis employs the Time-History method and modal calculations based on spectral accelerations. Structural calculations are conducted using the specialized ETABS software. The seismic response analysis is based on results such as maximum displacements, story drifts, story response spectra, story accelerations, force diagrams on elements, comparisons with code-imposed limits, and more.

The thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, bibliography, and appendices. It spans 67 pages (excluding appendices), includes 70 figures and 20 tables. The bibliography contains 11 references. The appendices comprise 13 pages, 3 tables, and 12 figures.

**Keywords:** seismic response, frame-type structures, time-history method.

## CUPRINS

INTRODUCERE .....	6
1. SPECIFICUL PROIECTĂRII ANTISEISMICE PENTRU ZONA SEISMICĂ VRANCEA ȘI TIPURILE DE APLICARE A ACȚIUNII SEISMICE ÎN CALCULUL STRUCTURAL .....	8
2. DEFINIREA METODELOR DE CALCUL, RELAȚIILOR ȘI DATELOR INIȚIALE .....	11
2.1. Definirea datelor inițiale pentru dimensionarea structurii în cadre prin metoda de calcul modal cu spectre de răspuns și prezentarea rezultatelor .....	11
2.2. Analiza înregistrărilor seismelor din 1977 și 1986 .....	15
2.3. Conversia accelerogramelor și obținerea accelerațiilor pseudo-spectrale .....	18
2.4. Analiza diagramelor accelerațiilor pseudo-spectrale .....	21
2.5. Generarea accelerogramelor sintetice .....	22
2.6. Analiza diagramelor seismelor sintetice generate .....	25
3. DEFINIRE PARAMETRI SPECIFICI METODEI TIME-HISTORY ȘI PREZENTAREA REZULTATELOR SIMULĂRILOR.....	26
3.1. Rezultate simulare seism 4 martie 1977 .....	28
3.2. Rezultate simulare seism 30 august 1986 INC .....	34
3.3. Rezultate simulare seism 30 august 1986 BUC .....	40
3.4. Rezultate simulare seism sintetic 1 .....	46
3.5. Rezultate simulare seism sintetic 2 .....	52
3.6. Rezultate simulare seism sintetic 3 .....	58
4. ANALIZA REZULTATELOR ȘI STUDIUL RĂSPUNSULUI SEISMIC .....	65
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI .....	67
BIBLIOGRAFIE .....	68
ANEXE.....	69

## INTRODUCERE

Structurile de tip cadru reprezintă una dintre cele mai frecvent utilizate soluții constructive pentru structurile cu numărul de niveluri relativ scăzut, datorită unor serii de factori precum flexibilitatea structurală și capacitatea de disipare a energiei seismice. Pe lângă cele menționate, comportamentul structurilor în cadre poate varia semnificativ în dependență de caracteristicile mișcărilor seismice și de alți factori specifici fiecărei structuri în parte. Studiarea răspunsului seismic a acestor tipuri de structuri este esențial pentru îmbunătățirea siguranței și performanței clădirilor în zonele predispuse la cutremure.

### **Actualitatea și relevanța temei abordate:**

Cutremurele majore produse anterior, precum cel din 4 martie 1977 și 30 august 1986, au evidențiat necesitatea studierii răspunsului seismic a tuturor tipurilor de structuri. În plus, dezvoltarea tehnologiilor de generare a seismelor sintetice, precum și a metodelor de analiză structurală bazate pe variația accelerațiilor în timp (Time-History), permit analiza unor scenarii extreme, greu de simulat doar în baza înregistrărilor de seisme reale. Tema este relevantă atât din perspectiva proiectării unor structuri rezistente, cât și pentru asigurarea conformității cu normativele de proiectare seismică actuale.

### **Scopul cercetării:**

Scopul principal al acestei lucrări este de a analiza comportamentul seismic al structurilor de tip cadru utilizând metoda time-history. Se urmărește compararea răspunsurilor structurale obținute prin simularea înregistrărilor de cutremure reale și simulate, pentru a identifica particularitățile și vulnerabilitățile acestor structuri.

### **Obiectivele cercetării:**

- Analiza parametrilor principali ai comportamentului seismic, precum deplasări, drift inter-etaj, spectrele de răspuns, etc;
- Identificarea diferențelor dintre răspunsurile structurale generate de cutremurele reale și cele sintetice;
- Evaluarea conformității răspunsurilor structurale cu limitele impuse de normativele actuale;
- Formularea unor recomandări pentru o potențială îmbunătățire a proiectării structurilor de tip cadru în zonele seismice;

### **Sinteza metodei de cercetare și justificarea acesteia:**

În cadrul acestei lucrări se va utiliza de bază metoda time-history. Fiind un tip de analiză ce oferă o imagine detaliată și precisă a comportamentului structural în timp. Pe lângă aceasta,

pentru fiecare caz de calcul cu metoda time-history, se va realiza și calcul modal în baza accelerațiilor spectrale caracteristice. Prezența unor rezultate comparabile pentru cele două metode va indica corectitudinea datelor inițiale introduse, acestea variind destul de mult în special pentru metoda time-history. Metoda a fost aleasă datorită capacității ridicate de analiză a răspunsurilor dinamice complexe. În cadrul studiului au fost utilizate:

- Trei înregistrări de seisme reale: 4 martie 1977 stația INC, 30 august 1986 stația INC și BUC;
- Trei seisme sintetice: generate pe baza spectrului de proiectare elastic pentru factorul de comportare  $q=1$ , tipului de seism și magnitudinea acestuia, perioadele dominante. De asemenea se introduc și o serie de parametri specifici amplasamentului stației de monitorizare seismică INC. Acești parametri includ: tipul de teren, viteza undei de forfecare, distanța Joyneer-Boore;

#### **Limitele cercetării:**

Studiul se limitează la utilizarea unui set redus de accelerograme, a unui singur tip de structură și a amplasamentului București. În acest caz, un alt tip de structură sau amplasament influențează asupra rezultatelor și a aplicabilității concluziilor formulate.

Prin această structurare, lucrarea oferă o analiză detaliată a comportamentului seismic al structurilor de tip cadru, contribuind la dezvoltarea unor soluții mai robuste pentru proiectarea în zonele seismice.

## CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

Conform rezultatelor calculelor prezentate în capitolul 3 și a analizei acestora în capitolul 4, comportamentul seismic al structurilor de tip cadru prezintă următoarele aspecte cheie:

- **Distribuția răspunsului seismic pe înălțime.** Nivelurile superioare prezintă răspunsuri amplificate a deplasărilor și accelerațiilor maxime, comparativ cu nivelurile inferioare ce prezintă un răspuns mai redus.
- **Efectul rezonanței.** Zona critică a spectrului corespunde perioadelor proprii de vibrație a structurii pentru modurile 1 și 2. Astfel se atestă o similitudine a frecvențelor proprii structurii și a mișcării seismice aplicate.
- **Rigidități reduse și deplasări cumulative.** Micșorarea rigidităților pe înălțime din cauza micșorării încărcărilor ce urmează a fi preluate, afectează în mod direct răspunsul seismic în special deplasările pe direcție orizontală. La nivelurile unde se atestă micșorarea secțiunilor stâlpilor, persistă valori mai mari ale driftului.
- **Impactul seismelor sintetice.** Seismele sintetice generează răspunsuri severe, de câteva ori peste ceve reale, cu depășiri ale spectrelor de proiectare pentru toate nivelurile și a limitelor impuse pentru deplasări orizontale și drift. Aceste scenarii extreme indică asupra necesității considerării în cazurile de proiectare a obiectivelor strategice și de importanță deosebită.
- **Diferențele între metodele de analiză.** Analiza time-history, în linii generale prezintă valori mai scăzute cu 15-20%. Datorită integrării dinamice și a interacțiunii modurilor proprii de vibrație, poate fi considerată o metodă de calcul ce oferă rezultate mai exacte.

Recomandări pentru optimizare:

- Creșterea rigidității structurale prin introducerea pereților structurali, a diaframelor sau contravântuirilor. Contribuie la reducerea deplasărilor și deformațiilor în zonele critice. De asemenea influențează asupra distribuției masei și rigidității, fapt ce urmează să scadă perioadele și să reducă efectul de rezonanță.
- Validarea cu analize avansate. Realizarea unei analize neliniare va surprinde comportamentul structural real pentru a valida ipotezele privind plastificarea și disiparea energiei.
- Proiectarea pentru seisme extreme. Luarea în calcul a acestor scenarii permite asigurarea unei siguranțe structurale în cazurile structurilor deosebit de importante.
- Implementarea dispozitivelor de amortizare. Utilizarea unor damperi sau a altor sisteme de amortizare reduc efectele de amplificare în timpul rezonanței.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Indicativ P100-1/2013. Cod de proiectare seismică. Partea I. Prevederi de proiectare pentru clădiri.
- [2] Indicativ CR 0 – 2012. Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor
- [3] SR EN 1991-1-1:2004. Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor
- [4] Indicativ CR 1-1-3/2012. Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor
- [5] Indicativ CR 1-1-4/2012. Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor
- [6] EN206-1:2000. Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity
- [7] Dan Lungu și col., "Seismic Strengthening Of Buildings And Seismic Instrumentation-two priorities for seismic risk reduction in Romania," *Acta Geodactica et Geophysica Hungarica*, vol. 39, no. 2-3, pp. 253-258, 2004.
- [8] Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului INCDFP. [INCDFP - Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Fizica Pământului](#)
- [9] SR EN 1998-1. Eurocod 8: Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur
- [10] Engineering Strong Motion Database. [ESM - Engineering Strong Motion database](#)
- [11] SeismoArtif. Earthquake software for artificial accelerograms generation. [SeismoArtif - Artificial Earthquake Accelerograms - Seismosoft](#)