

## STUDIUL ROBUSTEȚII STRUCTURILOR ÎN CADRE METALICE PRIN APLICAREA SCENARIILOR DE CEDARE A STÂLPILOR

**Teză de doctorat – Rezumat**

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat inginerie civilă și instalații

**autor ing. Ioan Mărginean**

conducător științific Prof.dr.ing. Dan Dubină, M. al Academiei Romane

Martie 2017

### 1. Abstract

Clădirile, ca de altfel și celelalte tipuri de construcții, trebuie proiectate și construite astfel încât să reziste tuturor încărcărilor care ar putea să acționeze asupra lor pe parcursul duratei lor de viață. În plus, în cazul producerii unor acțiuni extreme, cum ar fi explozii sau impact, integritatea lor structurală trebuie păstrată prin evitarea sau limitarea avariilor.

Pentru a asigura integritatea structurală, trebuie îndeplinite cerințe specifice în funcție de tipul sistemului structural și de clasa de importanță. În cazul clădirilor în cadre, o astfel de cerință prevede ca structura să rămână stabilă și avariile locale să nu depășească limitele acceptabile în cazul eliminării complete a oricăruia dintre stâlpi (sau a oricărei grinzi care susține un stâlp). Îndeplinirea acestei cerințe poate fi făcută prin diferite mijloace, însă o combinație între capacitate, ductilitate și continuitate la nivelul sistemului structural este probabil capabilă să ofere un nivel ridicat de protecție și siguranță împotriva evenimentelor extreme.

Cadrele metalice sunt folosite pe scară largă la realizarea clădirilor multietajate, asigurând rezistența, rigiditatea și ductilitatea necesară să reziste efectelor încărcărilor gravitaționale, a celor seismice sau a celor din vânt. Considerate eficiente în asigurarea unei robusteți ridicate, conceptele folosite în proiectarea antiseismică sunt considerate un model pentru controlul mecanismului de cedare în cazul producerii unor acțiuni extreme, altele decât de cele asociate mișcărilor seismice. Cu toate acestea, pot să apară anumite probleme specifice care trebuie luate în considerare pentru a limita extinderea cedărilor locale în cazul cedării stâlpilor.

Teza se axează pe evaluarea răspunsului structural al clădirilor în cadre metalice necontravântuite în urma unor acțiuni extreme care pot produce deteriorări locale în elemente sau în îmbinările acestora. Studiile experimentale și numerice desfășurate au permis dezvoltarea unor noi strategii pentru a identifica punctele slabe și pentru a obține robustețe structurală ridicată, capabilă să limiteze pagubele și să prevină propagarea colapsului. Patru tipuri de îmbinări grindă-stâlp au fost investigate experimental, acoperind în mare parte tipologiile de îmbinări folosite în mod curent în practica, iar rezultatele experimentale au fost utilizate pentru validarea unor modele numerice avansate. Rezultatele au arătat că acțiunea catenară îmbunătățește în mod substanțial capacitatea cadrelor necontravântuite de a rezista în urma cedării unui stâlp, însă mărește vulnerabilitatea îmbinării din cauza creșterii nivelului forței axiale. Rezultatele au arătat de asemenea că îmbinările cu placa de capăt și șuruburi pot ceda prematur, fără a permite redistribuirea încărcărilor aferente dacă acestea nu sunt proiectate pentru aceste condiții specifice de utilizare. Influența planșeului (acțiunea compusă) crește rigiditatea și capacitatea ultimă, dar reduce ductilitatea structurii.

Au fost efectuate și studii parametrice pentru a îmbunătăți capacitatea ultimă a îmbinărilor și,

implicit, a performanței globale a structurilor în cadre metalice în cazul pierderii unei stâlp, fără a afecta comportarea și principiile antiseismice. Pe baza modelelor numerice validate, a fost elaborată o metoda de analiză pentru evaluarea performanței structurilor la diferite scenarii de cedare a stâlpilor, luând în considerare efectele dinamice și modul real de încărcare. Totodată, a fost propusă o procedură de calcul pentru proiectarea îmbinărilor grindă-stâlp la colaps progresiv, incluzând recomandări de proiectare pentru fiecare tip de îmbinare în parte.

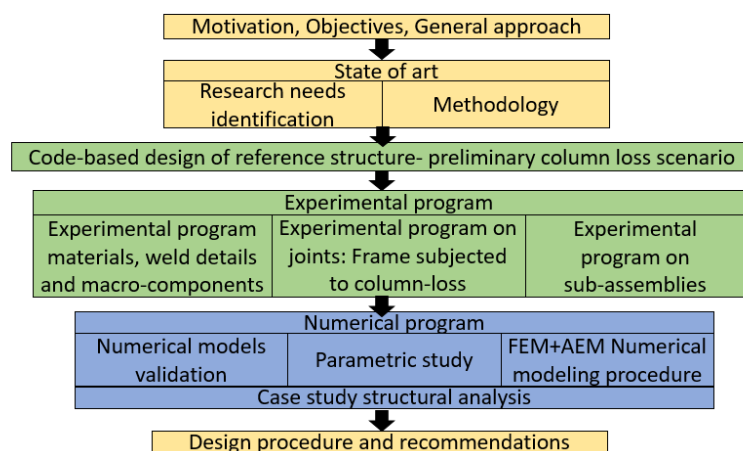


Fig. 1 Activitățile de cercetare din cadrul tezei

## 2. Descrierea capitolelor tezei

**Capitolul 1** prezintă motivația și obiectivele tezei. Cercetările desfășurate în cadrul tezei au fost susținute prin proiectul de cercetare “Concepția structurală și proiectarea pe baza controlului mecanismului de cedare a structurilor multietajate supuse la acțiuni accidentale” CODEC (2012-2016) [1], desfășurat prin Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării, UEFISCDI.

**Capitolul 2** prezintă stadiul actual al cercetării în domeniul rezistenței structurilor în cadre metalice la colaps progresiv și introduce cele mai importante lipsuri și necesități în cercetare pentru dezvoltarea cunoașterii. Sunt descrise principalele norme de proiectare [2-4] și metodologii de investigare experimentală pentru îmbinări, subansambluri 2D și 3D, sau clădiri la scară reală [5-8].

**Capitolul 3** prezintă informații detaliate cu privire la programul experimental. Mai multe structuri metalice în cadre au fost proiectate luând în considerare diferite sisteme de preluare a forțelor laterale și diferite cerințe seismice, folosind codurile și cerințele de proiectare uzuale, fără a ține seama de condițiile particulare referitoare la situațiile de proiectare accidentală. Una dintre structuri a fost aleasă pentru investigații experimentale amănunțite și anume încercări pe macro-componente sudate și cu șuruburi, precum și subansambluri în cadre 2D și 3D. Structura selectată pentru investigații a fost în prealabil analizată numeric pentru mai multe scenarii de cedare a stâlpilor, utilizând metoda elementului aplicat (AEM) [9]. Modelul numeric a fost calibrat cu ajutorul încercărilor experimentale din literatura de specialitate. Au fost de asemenea selectate patru tipuri de îmbinări care au fost proiectate și detaliate în cadrul programului experimental pe noduri (subansambluri 2D), două îmbinări cu șuruburi și două îmbinări sudate. Din aceste îmbinări au fost extrase macro-componente cu șuruburi și detalii de sudură care au fost încercate în diferite condiții de lucru. Încercările statice de tip “push-down” pe cadre 3D au fost efectuate cu scopul de a evalua răspunsul structurii în cazul cedării accidentale a unui stâlp interior, începând cu inițierea curgerii, formarea mecanismului plastic, și respectiv

producerea cedării [10-14].

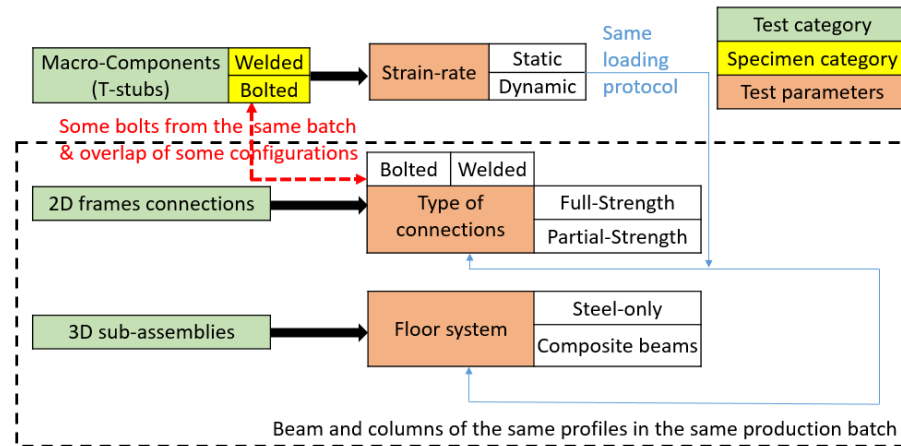


Fig. 2 Schema programului experimental

**Capitolul 4** prezintă programul de simulări numerice. Datele experimentale obținute în capitolul 3 au fost folosite pentru validarea modelelor numerice. Au fost create și validate modele bazate pe metoda elementului finit (FEM) pentru a determina numeric răspunsul detaliilor de sudură și a macro-componentelor cu șuruburi. Analizele FEM au fost realizate pentru optimizarea răspunsului și îmbunătățirea capacității ultime. Pentru îmbinări și ansambluri 3D au fost construite și validate atât modele FEM cât și AEM. Pentru studiile de caz s-au utilizat mai multe tipuri de clădiri în cadre, proiectate pentru diferite cerințe seismice, cu scopul de a obține detalii despre răspunsul cadrelor multietajate în cazul cedării unui stâlp și pentru a dezvolta strategii de limitare a riscului de producere a colapsului progresiv [15-17].

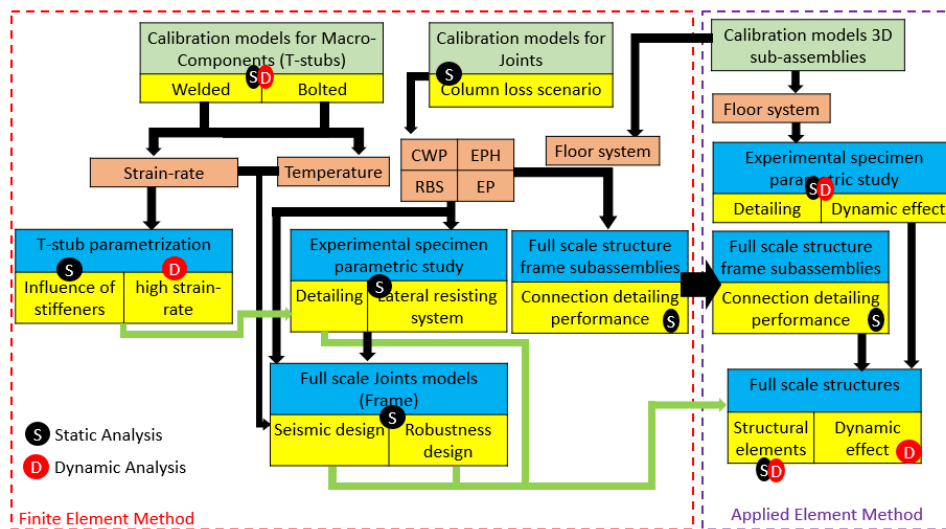


Fig. 3 Schema programului numeric

**Capitolul 5** oferă recomandări pentru proiectarea clădirilor în care metalice cu robustețe și rezistență ridicată împotriva colapsului progresiv și, în general, pentru cazurile în care acțiunile accidentale pot produce degradări locale extinse (cedarea parțială sau totală a unor elemente structurale). Recomandările se adresează în principal proiectării și detalierei nodurilor grindă-stâlp, dar și alegerii metodelor de analiză structurală (statică, dinamică) și a tipurilor de sisteme structurale și materiale de construcții atunci când rezistența la colapsul progresiv este

importanta [3].

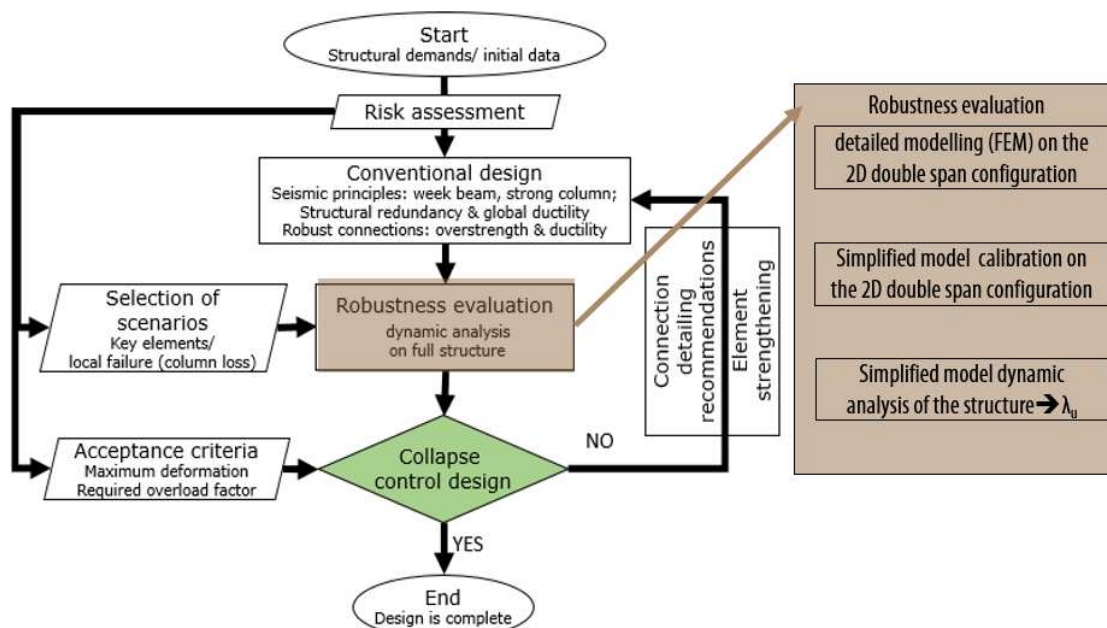


Fig. 4 Schema logică a proiectării la robustețe a structurilor în cadre și a îmbinărilor acestora

**Capitolul 6** prezintă rezultatele și contribuțiile principale dar și teme posibile pentru continuarea activității de cercetare. Programul experimental complex, cuplat cu simulări numerice avansate, a permis dezvoltarea unor îmbinări grindă-stâlp cu robustețe îmbunătățită în cazuri extreme de solicitare. Aplicarea unor modele neliniare avansate în studiile de caz pe clădiri a demonstrat eficiența soluțiilor comparativ cu practicile și cunoștințele actuale.

**Bibliografia** conține lucrări de doctorat, articole din reviste și conferințe, rapoarte de cercetare și alte materiale, precum și standarde care conțin informații prezentate în teză. Sunt de asemenea prezentate și alte surse de informare, programe software și granturi de cercetare.

**Anexele** oferă informații detaliate despre programul experimental, construcția și validarea modelelor numerice, proiectarea clădirilor folosite în studiile de caz și rezultatele simulărilor numerice.

### 3. Mențiuni

Această teză a fost susținută financiar de Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării prin contractul PN II PCCA 55/2012 “Concepția structurală și proiectarea pe baza controlului mecanismului de cedare a structurilor multietajate supuse la acțiuni accidentale” CODEC (2012-2016). Parțial, teza a fost susținută și prin proiectul strategic POSDRU/159/1.5/S/137070 (2014) al Ministerului Educației Naționale, România, co-finanțat din Fondul Social European – Investește în oameni, în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

### 4. Bibliografie

- [1] CODEC 2012, Structural conception and collapse control performance based design of multistory structures under accidental actions CODEC, Executive Agency for Higher Education, Research, Development and Innovation Funding (UEFISCDI) (2012-2016)

- Partnerships Program Joint Applied Research Projects grant number PN II PCCA 55/2012
- [2] DoD. UFC 4-023-03-with Change 1 Unified facilities criteria: design of buildings to resist progressive collapse, 2016, Washington (DC), US
- [3] CEN. EN 1991-1-7 Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: Accidental actions 2006, Brussels
- [4] GSA, "Alternate Path Analysis and Design Guidelines for Progressive Collapse Resistance". *Washington, DC (US)*, 2013
- [5] Xu, G and Ellingwood, BR, "Disproportionate collapse performance of partially restrained steel frames with bolted T-stub connections". *Engineering Structures*, 33 (1), 32-43, 2011
- [6] Demonceau, J-F and Jaspard, J-P, "Experimental test simulating a column loss in a composite frame". *Advanced steel construction*, 6 (3), 891-913, 2010
- [7] Liu, C, Tan, KH and Fung, TC, "Dynamic behaviour of web cleat connections subjected to sudden column removal scenario". *Journal of Constructional Steel Research*, 86 92-106, 2013
- [8] Song, BI, Giriunas, KA and Sezen, H, "Progressive collapse testing and analysis of a steel frame building". *Journal of Constructional Steel Research*, 94 76-83, 2014
- [9] Dinu, F, Dubina, D and Marginean, I, "Improving the structural robustness of multi-story steel-frame buildings". *Structure and Infrastructure Engineering*, 11 (8), 1028-1041, 2015
- [10] Dinu, F, Dubina, D, Marginean, I, Neagu, C and Petran, I, "Structural Connections of Steel Building Frames under Extreme Loading". *Advanced Materials Research*, 1111 223-228, 2015
- [11] Dinu, F, Dubina, D, Marginean, I, Neagu, C and Petran, I. *Axial strength and deformation demands for t-stub connection components at catenary stage in the beams*. in *8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas*. 2015. 623-630, 2015
- [12] Dinu, F, Mărginean, I, Dubina, D and Neagu, C. *Experimental evaluation of progressive collapse resistance of steel moment frame connections*. in *The International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures*. 2016. ECCS – European Convention for Constructional Steelwork, 681-690, 2016
- [13] Dinu, F, Marginean, I, Dubina, D, Petran, I, Pastrav, M, Sigauan, A and Ciutina, A. *Experimental testing of 3D steel frame with composite beams under column loss*. in *The International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures*. 2016. ECCS – European Convention for Constructional Steelwork, 691-698, 2016
- [14] Dinu, F, Marginean, I, Dubina, D, Sigauan, A and Petran, I. *Experimental research on the behavior of steel moment frame connections under column loss scenario* in *Proceedings of the Eighth International Workshop on Connections in Steel Structures*. 2016. Boston, US, 2016
- [15] Marginean, I, Dinu, F, Dubina, D, Petran, I, Senila, M and Szilagy, H. *Numerical modeling of dynamic response of steel moment frames following sudden column loss*. in *The International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures*. 2016. ECCS – European Convention for Constructional Steelwork, 717-724, 2016
- [16] Dinu, F, Marginean, I, Dubina, D and Petran, I, "Experimental testing and numerical analysis of 3D steel frame system under column loss". *Engineering Structures*, 113 59-70, 2016
- [17] Dinu, F, Marginean, I, Dubina, D and Petran, I. *Experimental study of seismic resistant steel frames in case of column loss*. in *Eighth International Conference on ADVANCES IN STEEL STRUCTURES*. 2015. 2015