

Titlu proiect: **Validarea experimentală a răspunsului unei clădiri în cadre supusă acțiunii exploziilor (FRAMEBLAST)**

Denumirea Programului din PN III: Programul 2 - Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare

Tip proiect: Proiect experimental - demonstrativ

Nr. contract: **39PED / 2017**

Nr. proiect: **PN-III-P2-2.1-PED-2016-0962**

### **Raport etapa I/finala 2017**

Denumire etapa: Etapa I: Încercări experimentale la explozie pe o clădire la scara reala:

Activități:

- Activitatea I.1: Analize preliminare privind efectele exploziilor interne și externe asupra clădirilor
- Activitatea I.2: Proiectarea specimenului experimental la scara reala și a specimenelor pentru încercări pe materiale
- Activitatea I.3: Fabricarea specimenului experimental la scara reala și a specimenelor pentru încercări pe materiale
- Activitatea I.4: Încercări experimentale pe materiale pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice
- Activitatea I.5: Montajul clădirii la scara reala pe platforma pentru încercări la explozie
- Activitatea I.6: Încercări experimentale pe clădirea la scara reala la acțiunea exploziilor interne
- Activitatea I.7: Pregătire încercări experimentale pe clădirea la scara reala la acțiunea exploziilor externe
- Activitatea I.8: Diseminarea rezultatelor cercetărilor

Rezultate obtinute:

- Raport tehnic: Modelarea acțiunii exploziei și a răspunsului clădirilor în cadre
- Evaluare și coordonare - Desene de execuție și montaj și specificații de material pentru programul experimental
- Structura metalică finită și specimene pentru încercări pe materiale din structura
- Raport tehnic privind rezultatele încercărilor pe materiale
- Raport tehnic privind rezultatele încercărilor la explozii interne și externe pe clădiri la scara reala
- Evaluare, coordonare și diseminare

## Cuprins:

1.	Rezumatul etapei .....	3
1	Activitatea I.1: Analize preliminare privind efectele exploziilor interne si externe asupra clădirilor .....	4
1.1.	Introducere .....	4
1.2.	Analiza numerica pe modelul experimental .....	5
2	Activitatea I.2: Proiectarea specimenului experimental la scara reala si a specimenelor pentru încercări pe materiale	
+ Activitatea I.3:	Fabricarea specimenului experimental la scara reala si a specimenelor pentru încercări pe materiale .....	8
3	Activitatea I.4: Încercări experimentale pe materiale pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice.....	10
4	Activitatea I.5: Montajul clădirii la scara reala pe platforma pentru încercări la explozie.....	13
5	Activitatea I.6: Încercări experimentale pe clădirea la scara reala la acțiunea exploziilor interne .....	14
6	Activitatea I.7: Pregătire încercări experimentale pe clădirea la scara reala la acțiunea exploziilor externe.....	16
7	Activitatea I.8: Diseminarea rezultatelor cercetărilor .....	16

## Rezumatul etapei

Etapa I/2017 a proiectului a cuprins opt activitati activități principale,

- Activitatea I.1: Analize preliminare privind efectele exploziilor interne si externe asupra clădirilor
- Activitatea I.2: Proiectarea specimenului experimental la scara reala si a specimenelor pentru încercări pe materiale
- Activitatea I.3: Fabricarea specimenului experimental la scara reala si a specimenelor pentru încercări pe materiale
- Activitatea I.4: Încercări experimentale pe materiale pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice
- Activitatea I.5: Montajul clădirii la scara reala pe platforma pentru încercări la explozie
- Activitatea I.6: Încercări experimentale pe clădirea la scara reala la acțiunea exploziilor interne
- Activitatea I.7: Pregătire încercări experimentale pe clădirea la scara reala la acțiunea exploziilor externe
- Activitatea I.8: Diseminarea rezultatelor cercetărilor

In cadrul activității I.1 au fost realizate analize preliminare privind efectul exploziilor asupra clădirilor. Studiile au avut ca obiectiv principal alegerea scenariilor de explozie in vederea proiectării modelului experimental. Au fost analizate mai multe modele in cadre din otel, exploziile fiind variate ca poziție si cantitate de exploziv. In final s-a optat pentru un model cu doua deschideri, doua travei si doua etaje.

Activitățile I.2 si I.3 au cuprins proiectarea si fabricarea modelului experimental. Proiectarea structurii s-a facut pe baza prevederilor din normele nationale (aliniate la cele europene), fara considerarea unor actiuni accidentale (explozii). Pe baza proiectului s-a realizat documentația de fabricație si montaj constând in desene (de ansamblu, de detaliu), liste de materiale si caiete de sarcini.

Din fiecare tip de element (profile de stâlpi si grinzi, placi de tabla) si element de îmbinare (șuruburi) s-au prelevat probe care au fost încercate in laborator pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice (Activitatea I.4).

Structura metalica a fost transportata in poligonul pentru încercări din cadrul Insemex Petrosani (partener in proiect). Ancorarea structurii in teren s-a facut prin intermediul unor buloane de ancoraj prinse intr-o retea de grinzi de fundare. Prinderile finale cu suruburi s-au facut controlat prin introducerea unor momente la cheie prestabilite (Activitatea I.5).

Activitatea I.6 a inclus teste la explozie produse la interiorul cladirii. Au fost pregatite incarcaturi de proba de 143 g pozitionate in diverse puncte de la parter. Detonările s-au făcut in mai multe etape pentru a se calibra sistemul de achiziții de date (senzori de presiune, senzori de accelerație pe structura, timbre tensometrice pe structura, seismometre pe teren). Testele au fost făcute fără dispunerea de încărcări gravitaționale pe planșee. Activitatea I.7 a constat in verificări preliminare asupra caracteristicilor încercărilor cu explozii externe care vor fi desfășurate in cadrul Etapei II/2018.

Promovarea proiectului FRAMEBLAST si diseminarea rezultatelor cercetărilor (Activitatea I.8) au fost permanent avute in vedere in anul 2017 prin:

- prelegerile invitate la conferințe
- lucrări publicate (sau trimise spre publicare) la conferințe sau reviste de specialitate
- suport pentru teze de doctorat si lucrări de dizertație
- suport pentru propuneri de proiecte de cercetare internaționale
- pagina de internet
- rapoarte tehnice prezentate in cadrul unor comitete tehnice ale asociațiilor profesionale

# 1 Activitatea I.1: Analize preliminare privind efectele exploziilor interne și externe asupra clădirilor

## 1.1. Introducere

Exploziile produse în zone urbane au o probabilitate redusă de apariție, dar atunci când se produc pot prezenta un risc deosebit pentru clădiri și ocupanți. Atunci când încărcătura este detonată în imediata apropiere a unor elemente structurale principale, se pot produce avarii locale majore, care, la rândul lor, se pot extinde și pot genera colapsul generalizat (denumit și colaps progresiv). Colapsul progresiv, care în multe situații cauzează mai multe victime decât unda de șoc sau decât efectul de fragmentare (al încărcăturii explozive sau prin bucățile desprinse din elementele clădirii) poate fi prevenit prin diferite măsuri, care vizează atât reducerea expunerii, de exemplu prin creșterea distanței de siguranță, cât și reducerea vulnerabilității, prin folosirea unor sisteme cu redundanță ridicată și cu continuitate între elemente. Capacitatea unei structuri de a rezista unor acțiuni extreme, fără să fie afectată la un nivel disproporționat de mare față de acțiunea cauzatoare, este denumită robustețe și este cerută inclusiv prin normele de proiectare în vigoare (ex. EN 1991-1-7, 2006). Conștientizarea acestor riscuri necesită măsuri adecvate în proiectarea și execuția structurilor de rezistență pentru clădiri (ASCE, 2011; DoD, 2016). Calculul la explozie este însă o sarcină dificilă (comparativ cu alte tipuri de calcul), atât în ceea ce privește evaluarea acțiunii (ex. valoarea maximă a presiunii rezultate sau variația ei pe element sau structură) cât și a efectelor asupra materialului sau elementului, de exemplu efectul vitezei de încărcare asupra caracteristicilor mecanice ale oțelului sau interacțiunea explozie-structură. Aceste probleme sunt cu atât mai complexe cu cât explozia se produce la o distanță mai redusă de clădire. În aceste situații, utilizarea unor analize numerice poate conduce la rezultate mai precise, însă pentru acuratețea acestora sunt necesare validări folosind încercări experimentale (Krishnappa s.a., 2014; A.A. Nassr s.a. 2014; Mazurkiewicz s.a., 2015; Dinu s.a., 2016). Problemele legate de calculul acțiunii directe a unei explozii au condus la dezvoltarea unor metode alternative, printre care metoda cailor alternative de transfer (AP). Această metodă are ca element principal renunțarea la modelarea directă a efectului exploziei și înlocuirea ei prin îndepărtarea (scoaterea din lucru) a elementului structural direct afectat de explozie și evaluarea capacitații de preluare și redistribuție a eforturilor din zonele afectate (EN 1991-1-7; DoD, 2016). Cercetările desfășurate pe plan mondial pe această temă au cuprins atât sisteme plane cât și subsambluri spațiale, cu sau fără planșeul din beton armat (Astaneh-Asl et al., 2001; Sadek et al., 2008; Alashker et al., 2010; Yang & Tan, 2013; Mazurkiewicz et al., 2015; Dinu et al., 2017). Rezultatele încercărilor la explozie la nivel de element obținute în cadrul proiectului CODEC (2012-2016) au fost folosite pentru analiza unor structuri în cadre din oțel pentru clădiri supuse la diferite scenarii de explozie. Modelarea numerică s-a făcut cu programul de calcul Extreme Loading for Structures ELS (2016).

În Fig. 1 se prezintă modelul unei structuri în cadre din oțel analizate la acțiunea unei explozii analizate la acțiunea unei explozii. În primul scenariu este afectat un stalp interior, iar în al doilea, stalpi din cadre marginale. Fig. 2 prezintă forma deformată a structurii după cedarea unui stalp interior, respectiv a doi stalpi perimetrali. Capacitatea de a izola cedările locale depinde de condițiile în care este configurat și proiectat sistemul structural. De asemenea, nivelul de suprazistență față de încărcările gravitaționale luate în considerare în proiectare este un factor important în stabilirea capacitații de a preveni colapsul progresiv.

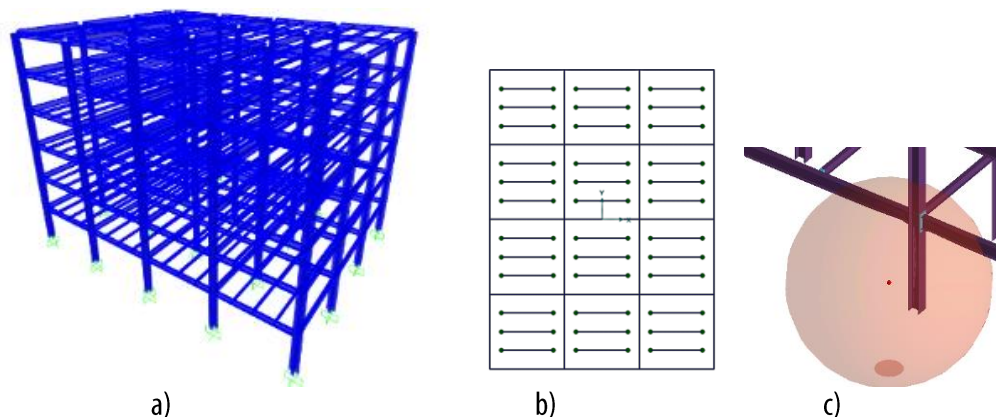


Fig. 1 Modelul unei structuri în cadre din oțel: a) vedere 3D; b) plan de nivel; c) poziția încărcăturii explozive pentru scenariul de explozie externă

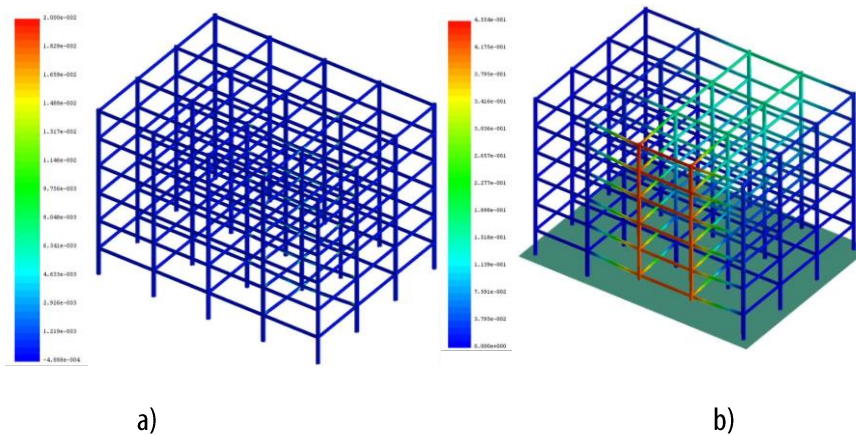


Fig. 2 Forma deformata a structurii: a) explozie care conduce la ruperea unui stâlp interior; b) explozie care conduce la cederea a doi stâlpi exteriori

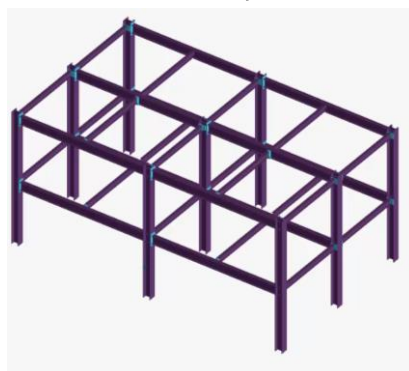
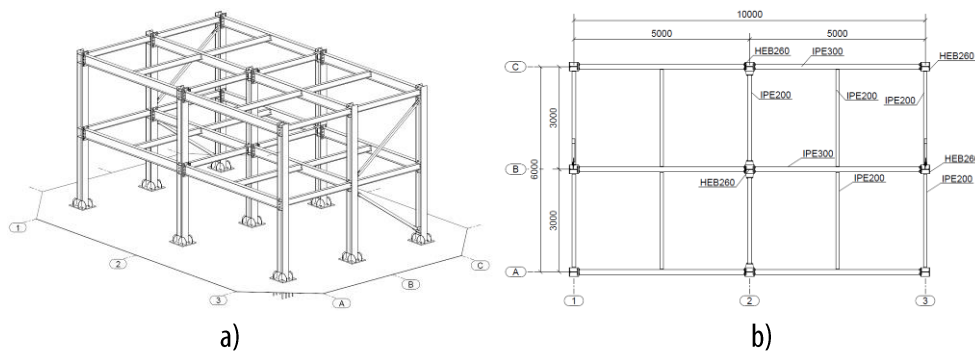


Fig. 3 Vedere de ansamblu cu modelul experimental extras din structura de referință

### 1.2. Analiza numerica pe modelul experimental

Din structura de referință analizată a fost izolat un model de clădire cu două deschideri de câte 5.0 m, două travei de câte 3.0 m și două etaje de câte 2.5 m, vezi Fig. 4. Structura a fost dimensionată în conformitate cu prevederile din normele în vigoare la combinații de încărcări din situația persistentă (fundamentală) și seismică (nivel redus de seismicitate  $a_g = 0.1g$ ). Stâlpii sunt realizați din profile HEB 260, iar grinzile transversale din profile IPE 300. Grinzile secundare sunt realizate din profile IPE 200. Materialul din elemente este S275. Pe direcție transversală, grinzile sunt prinse rigid de stâlpi cu șuruburi M24 gr.10.9 și plăci de capăt de grosime 16 mm. Pe direcție longitudinală, sunt dispuse contravântuirii verticale din țevă. Grinzile longitudinale și cele secundare sunt prinse articulat de stâlpi, respectiv de grinzile principale. Stâlpii sunt prinși rigid la bază. Structura a fost proiectată pentru situațiile de proiectare permanentă și seismică (seismicitate redusă, valoarea accelerației orizontale a terenului 0.10 g).



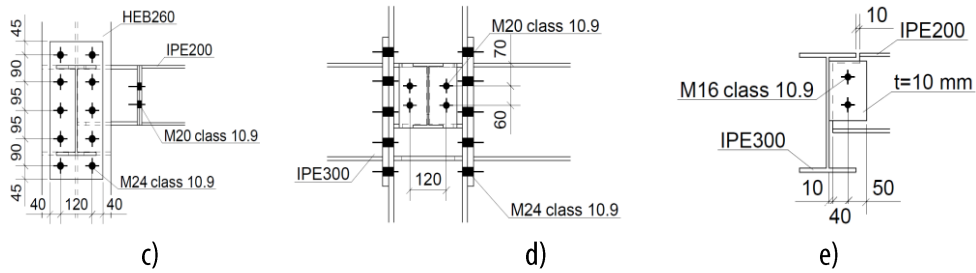


Fig. 4 Vederi și detalii ale modelului experimental: a) vedere spațială; b) plan etaj; c) îmbinare rigidă grindă-stâlp în planul cadrului; d) îmbinare articulată grindă-stâlp în afara planului; e) îmbinare articulată grindă secundară - grindă principală

Structura a fost analizată la efectul unor explozii produse de încărcături amplasate la diferite distanțe față de stâlpul perimetral central, Ax A2 și C2 (Fig. 5.a). Exploziile de diferite intensități sunt proiectate să producă avarii locale în stâlpi și deformații plastice în grinzi adiacente după redistribuirea eforturilor, însă fără cedarea globală a structurii. Pentru analizele preliminare s-a folosit programul ELS și modelul numeric validat pe baza rezultatelor obținute în proiectul CODEC (Fig. 5.b). Fig. 7 prezintă modul de cedare a inimii stâlpului în modelul numeric, parametrii exploziei fiind similari cu cei din încercarea experimentală m5 (masa încărcăturii egală cu 1.815 kg, distanța față de inima stâlpului de 20 de cm) (Fig. 6.b-c). Validarea s-a făcut și la nivel de deformație specifică în zonele de presiune maximă de pe inimă. Măsurătorile experimentale s-au făcut pentru un singur specimen folosind timbre tensometrice dispuse pe inimă (Fig. 8.a). Ultimele citiri înregistrate au fost cele din încercarea m4 la 50 de cm. Fig. 8.b-c prezintă variația în timp a deformației specifice măsurate de timbrul S6. Pentru încercarea m3 valorile obținute numeric sunt foarte apropiate de cele măsurate experimental, în timp ce pentru încercarea m4 sunt unele diferențe. Pentru încercarea m5 nu au putut fi făcute măsurători (timbrele au fost distruse de unda de șoc).

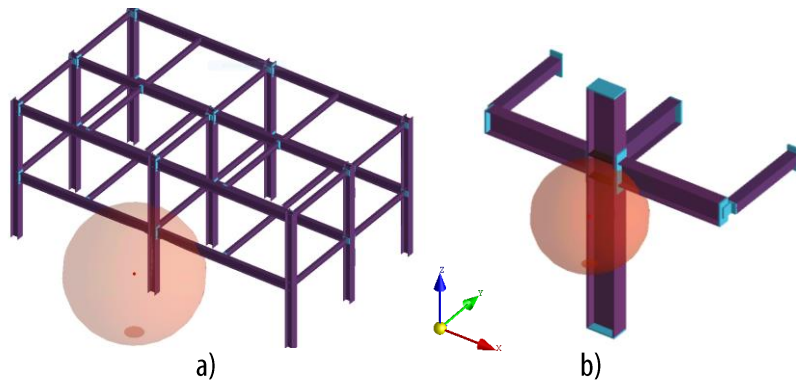


Fig. 5 Modelele numerice: a) vedere de ansamblu a modelului global al structurii; b) vedere cu modelul folosit la validarea rezultatelor pe stâlpi



Fig. 6 - Fotografii cu stalpii incercati la explozie: a) înainte de încercare; b) specimenul 1 după ultima încercare; c) specimenul 2 după ultima încercare (CODEC)

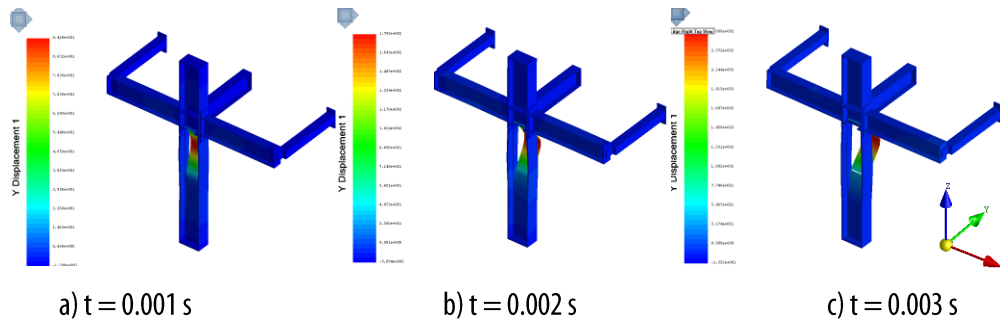


Fig. 7 Ruperea inimii stâlpului (deplasările în mm sunt măsurate în afara planului)

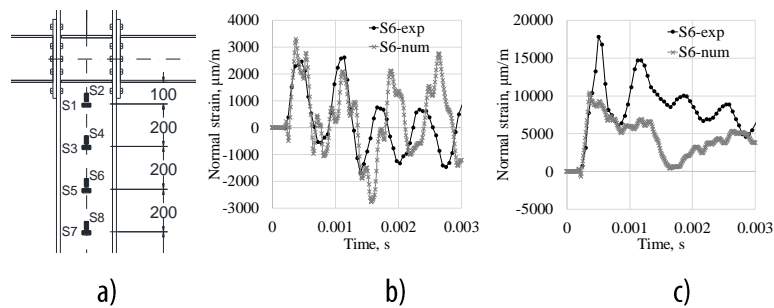


Fig. 8 Deformațiile specifice în inima stâlpului: a) poziția și numerotarea timbrelor; b) experimental și numeric, S6, încercarea m3; c) experimental și numeric, S6, încercarea m4

Pentru a se evalua parametrii încărcărilor la explozie prevăzute în programul experimental din proiectul FRAMEBLAST, și anume masa încărcăturii explozive și poziția față de structură, au fost analizate mai multe scenarii de încărcare. Așa cum a rezultat din încercările la explozie pe stâlpi prezentate în secțiunea anterioară, o încărcătură  $m=1.815$  kg plasată la distanța  $D=20$  cm de fața stâlpului conduce la ruperea completă a inimii stâlpului HEB260 (reduc la 160 de mm lățime pe tălpi) pe o anumită distanță. În condițiile în care nu au existat încărcări gravitaționale în stâlpi (altele decât cele din greutate proprie), cedarea locală a fost izolată, fără să afecteze la nivel global elementul. De aceea, este important ca evaluarea răspunsului modelului experimental la efectul unei explozii să ia în considerare și prezența unor forțe axiale în stâlpi, forțe care provin din încărcările distribuite pe grinzile structurii. Având în vedere că stâlpii din modelul experimental sunt similari cu cei din speciamele încercate, sarcina minimă luată în considerare este  $m=1.815$  kg plasată la distanța  $D=20$  cm. Încărcările gravitaționale sunt apoi majorate până când se inițiază colapsul progresiv. Pentru calculul structurii, se folosește o analiză dinamică neliniară utilizând combinația de încărcări:

$$G_{ND} = 1.2 P + 0.5 L \quad (1)$$

unde:  $G_{ND}$  este încărcarea gravitațională pentru analiza dinamică;  $P$  este încărcarea permanentă (în  $\text{kN/m}^2$ );  $L$  = încărcarea utilă (în  $\text{kN/m}^2$ ).

Atât încărcarea permanentă  $P$  cât și încărcarea utilă  $L$  au valoarea de  $4 \text{ kN/m}^2$ . Procedura de analiză cuprinde doi pași. În primul pas, se aplică static încărcarea gravitațională până la valoarea nominală calculată conform ec. 1. În pasul doi, se aplică presiunea rezultată din explozia încărcăturii  $m=1.815$  kg plasate la înălțimea de 1.3 m de la sol și distanța  $D=20$  cm față de stâlpul A2 (de la parter). Analiza se repetă pentru valori crescătoare ale încărcării gravitaționale (multiplicată prin intermediul factorului  $\lambda$ ), până când în urma exploziei se declanșează colapsul progresiv. Pentru fiecare caz de încărcare, rezultatele sunt comparate cu scenariul de tip stâlp lipsă prevăzut în metoda căilor alternative de transfer (AP) (DoD, 2016). În conformitate cu AP, atunci când se folosește o analiză dinamică neliniară, în primul pas se aplică încărcările gravitaționale (similar cu analiza directă la explozie), iar apoi stâlpul este îndepărtat instantaneu. Fig. 9 prezintă deplasarea pe verticală la partea de sus a stâlpului A2, din scenariile de explozie și respectiv din analiza de tip stâlp lipsă. Pentru  $\lambda=1$ , deplasările maxime instantanee din analiza la explozie și din cea de stâlp lipsă depășesc 25 și respectiv 30 de mm, stabilizându-se în jurul valorii de 15 mm, fără ca cedarea locală să se extindă la alte elemente (vezi și Fig. 10.a). Diferența dintre cele două analize este dată de capacitatea reziduală a stâlpului, existentă în cazul scenariului de explozie (tălpile rămân relativ intacte). Pentru  $\lambda=2$ , deplasările maxime instantanee și remanente cresc, iar pentru  $\lambda=4$  oscilațiile pe

verticală sunt foarte reduse, ceea ce indică iminența producerii colapsului progresiv (vezi și Fig. 10.b). Pentru valori  $\lambda > 4$ , atât în cazul exploziei directe cât și al scoaterii nominale a stâlpului, structura nu are capacitatea să redistribuie eforturile locale suplimentare apărute și se produce colapsul progresiv. Rezultatele obținute permit alegerea treptelor de încărcare gravitațională și a parametrilor exploziilor care conduc la avarii locale (stâlp scos parțial sau total din lucru) și la deformații mari în structură, fără însă să se producă cedări globale. Se poate obține astfel evaluarea răspunsului structurii la acțiunea exploziei, incluzând evaluarea capacității reziduale din stâlpi (dacă există) și a capacității de redistribuire la nivelul cadrului din oțel. Pe baza acestor rezultate, se va valida modelul numeric integrat (acțiune - răspuns) folosind programul ELS.

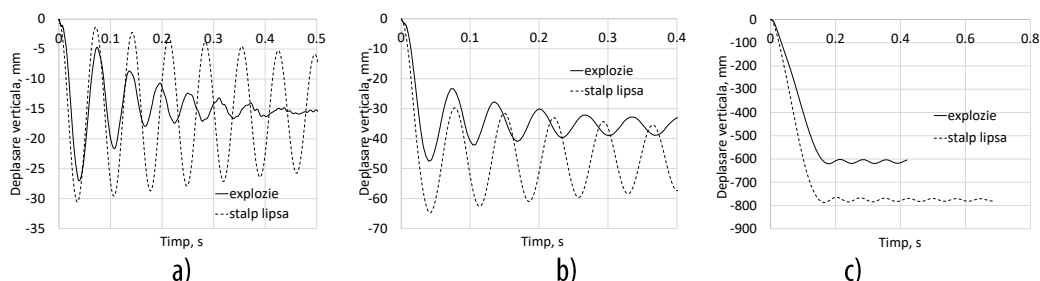


Fig. 9 Deplasarea pe verticală la partea de sus a stâlpului A2, din scenariu de explozie și respectiv stâlp lipsă: a)  $\lambda=1$ ; b)  $\lambda=2$ ; c)  $\lambda=4$

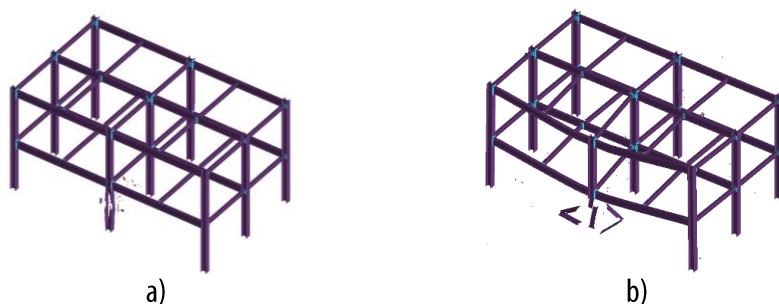


Fig. 10 Deformata globală a structurii din explozie: a)  $\lambda=1$ ; b)  $\lambda=4$

## 2 Activitatea I.2: Proiectarea specimenului experimental la scara reala si a specimenelor pentru încercări pe materiale + Activitatea I.3: Fabricarea specimenului experimental la scara reala si a specimenelor pentru încercări pe materiale

Proiectarea modelului experimental a inclus realizarea documentației de fabricație și montaj constând în desene (de ansamblu, de detaliu), liste de materiale și caiete de sarcini. Greutatea totală a confecției metalice a fost de 10665.3 kg. Fabricarea elementelor componente ale structurii metalice a fost realizată într-o fabrică specializată. După execuție, elementele structurale și piesele de îmbinare (suruburi) au fost transportate pe platforma pentru testare in situ din cadrul Insemex Petrosani, partener în proiect.





Lista ansambluri Proiect: FRAMEBLAST PHASE: DDE Date: 01.07.2017

Asmblu Poz. No. Nume Profil Aria(m<sup>2</sup>) Greutate(kg)

B/1	2	BEAM	IPE270	4.8	181.8
B/2	2	BEAM	IPE270	4.8	181.8
B/3	2	BEAM	IPE270	4.9	183.2
B/4	2	BEAM	IPE270	4.8	181.8
B/5	2	BEAM	IPE270	4.8	181.8
B/6	2	BEAM	IPE270	4.9	183.2
C/1	1	COLUMN	HEB260	10.4	646.5
C/2	1	COLUMN	HEB260	10.4	646.5
C/3	1	COLUMN	HEB260	10.4	646.5
C/4	1	COLUMN	HEB260	10.2	639.5
C/5	1	COLUMN	HEB260	10.2	639.5
C/6	1	COLUMN	HEB260	10.2	639.5
C/7	1	COLUMN	HEB260	10.2	639.5
C/8	1	COLUMN	HEB260	10.2	639.5
C/9	1	COLUMN	HEB260	10.2	639.5
CV/1	3	BRACE	CFRHS100X100X5	1.5	53.7
CV/2	3	BRACE	CFRHS100X100X5	1.4	52.2
Pi/1	9	COLUMN	D30	2.4	91.8
SB/1	11	BEAM	IPE200	2.3	66.9
SB/5	1	BEAM	IPE200	2.3	66.9
SB/6	16	BEAM	IPE160	1.9	47.2

Total ptr 64 ansambluri: 238.7 10665.3

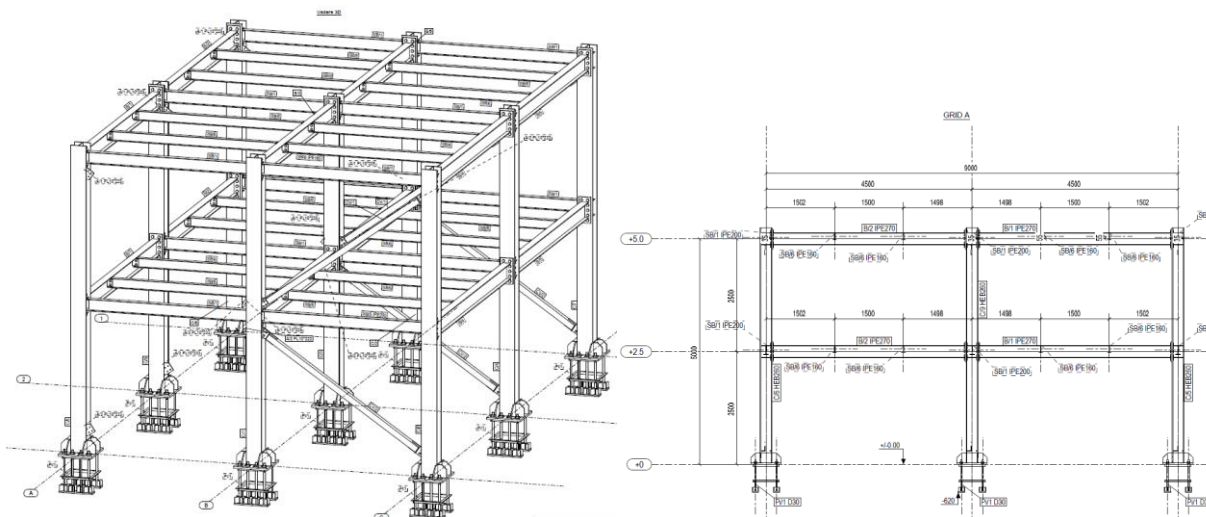


Fig. 11 Planuri de ansamblu structura metalica

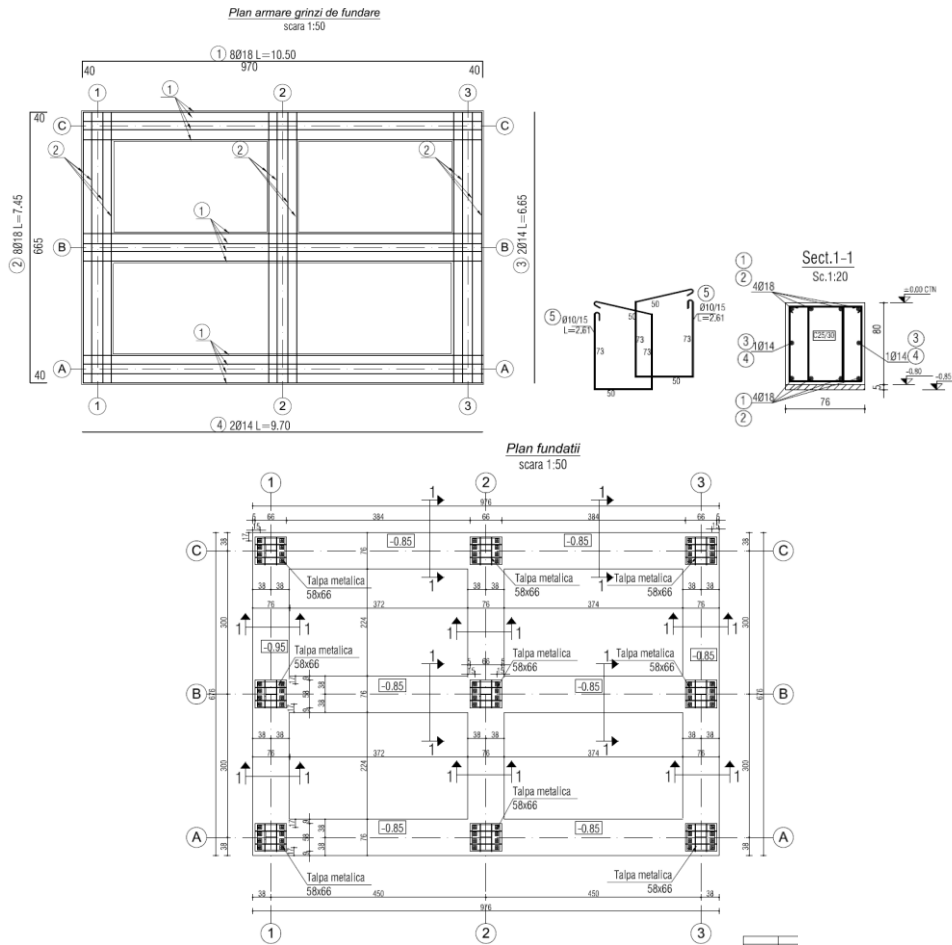


Fig. 12 Planuri si detalii fundatii

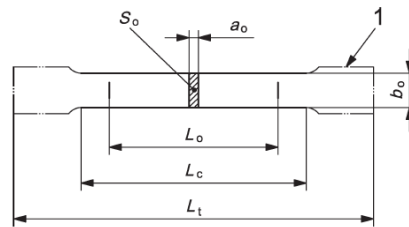


Fig. 13 Proba pentru incercari la intindere

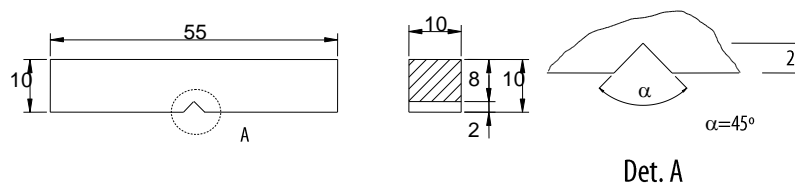


Fig. 14 Proba pentru incercari la incovoiere prin soc pe epruvete cu crestatura in V

### 3 Activitatea I.4: Încercări experimentale pe materiale pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice

Programul de încercări pe materiale a cuprins urmatoarele tipuri de incercari:

- încercări la intindere pe materialul de baza din profile si table
- încercări la intindere pe suruburi M24 gr.10.9 folosite la prinderea grinda-stalp
- Incercari la incovoiere prin soc pe epruvete cu crestatura in V

Pentru fiecare tip de incercare au fost executate cate 3 epruvete din fiecare calitate de material si grosime de element.

Primele doua tipuri de incercari au fost realizate pe masina de testat universala Instron. Valorile urmarite au fost limita de curgere si rezistenta la intindere, respectiv alungirea la curgere, alungirea la forta maxima si respectiv alungirea ultima.

Încercarea se face în conformitate cu prevederile din normativul SR EN 10002-1:2002 Materiale metalice - Încercarea la tracțiune - Partea 1: Metoda de încercare (la temperatură ambiantă)

Cel de-al treilea tip de încercări constă în ruperea dintr-o singură lovitură, cu un ciocan pendul, a unei epruvete prevăzută la mijloc cu o creștătură în V. Cu ajutorul acestei încercări se determină energia consumată la rupere prin șoc a unei epruvete cu creștătură în V. Încercarea se face în conformitate cu prevederile din normativul SR EN ISO 148-1:2017 Materiale metalice. Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruveta Charpy. Partea 1: Metodă de încercare.

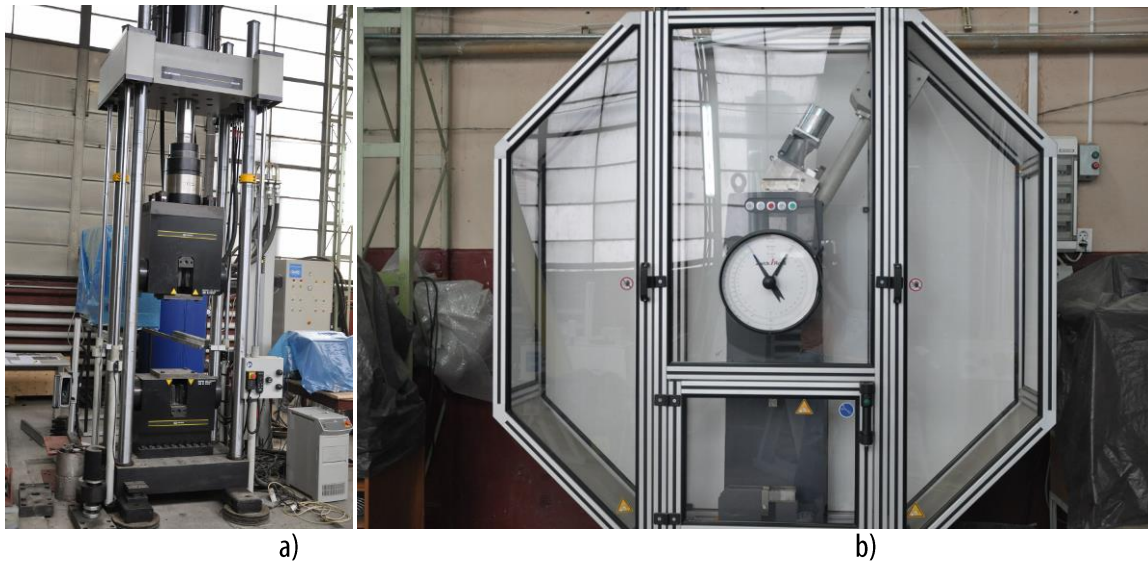


Fig. 15 Infrastructura disponibilă la laboratorul CMMC de la UPT: a) mașina de încercat universală Instron, 1000 kN; b) mașina de încercat la încovoiere prin șoc (Charpy)





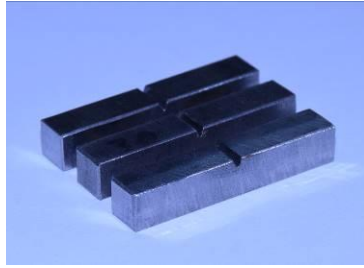


Fig. 16 Epruvetele extrase din elementele structurii metalice

#### 4 Activitatea I.5: Montajul clădirii la scara reala pe platforma pentru încercări la explozie

Fig. 18 prezinta vederi din timpul execuției infrastructurii (săpătura pentru fundații) și suprastructurii și la final, cu structura montată complet.



Fig. 17 Vederi din timpul realizării infrastructurii: a) executarea săpăturii pentru grinzile de fundare; b) piesele de ancorare a stâlpilor în grinzile de fundare



Fig. 18 Vederi din timpul lucrărilor de montaj: a) prinderea stâlpilor în fundații; b) detaliu de nod; c) vedere de ansamblu cu modelul experimental

## 5 Activitatea I.6: Încercări experimentale pe clădirea la scara reala la acțiunea exploziilor interne

Activitatea I.6 a cuprins teste la explozie produse la interiorul clădirii. Au fost pregătite încărcături de proba poziționate în diverse puncte de la parter, vezi Fig. 19. Explozivul folosit este de tip RIOMAX, livrat în cartușe de 143 g. RIOMAX este un exploziv folosit în mod curent în lucrările de împușcări. Acest produs este sensibilizat cu microsferă de sticlă ceea ce îi conferă o mare putere. RIOMAX are o consistență solidă și culoarea gri datorită aluminiului din compoziția sa. Este oferit în cartușe din hârtie cerată. RIOMAX are caracteristicile dinamice, dar în același timp avantajul că nu conține nitrati de glicerină iar emisiile de NO<sub>x</sub> sunt mai mici.

Detonarile s-au făcut în mai multe etape pentru a se calibra sistemul de achiziție de date (senzori de presiune, senzori de accelerație pe structură, timbre tensometrice pe structură, seismometre pe teren). Testele au fost făcute fără dispunerea de încărcături gravitaționale pe planșee.



Fig. 19 Poziționarea încărcăturilor explozive: a) test 1, mijlocul grinzii interioare principale de la parter; b) test 2, mijlocul grinzii perimetrare principale de la parter

Pentru caracterizarea experimentală a avariilor structurale, au fost făcute măsurători dinamice pentru a estima parametrii modali înainte și după producerea unei explozii. Parametrii modali inițiali au fost folosiți și pentru calibrarea modelului numeric al structurii. Folosirea tehnicii de identificare dinamică permite evaluarea avariilor structurale prin evaluarea modificărilor frecvențelor și a modurilor proprii de vibrație. Pentru măsurători a fost utilizată tehnica experimentală Bruel & Kjaer, folosind ca sursă de excitație un ciocan cu senzor de forță de tip 8208 (forță maximă 35584 N). Pentru măsurarea răspunsului structurii au fost utilizați 9 senzori de accelerație plasați în diverse puncte pe structură. Fig. 20 prezintă două dintre configurațiile cu poziționarea accelerometrelor și poziția de aplicare a sursei de excitație (ciocan cu senzor de forță tip 8208) și anume stâlpii C2 și C3 pe ambele direcții și stâlpii C2-C3 configurație longitudinală. Rezultatele finale au arătat valori neschimbate ale caracteristicilor dinamice, rezultate fiind validate și de observațiile vizuale făcute în urma testelor la explozie cu masa încărcăturii de 143 g.

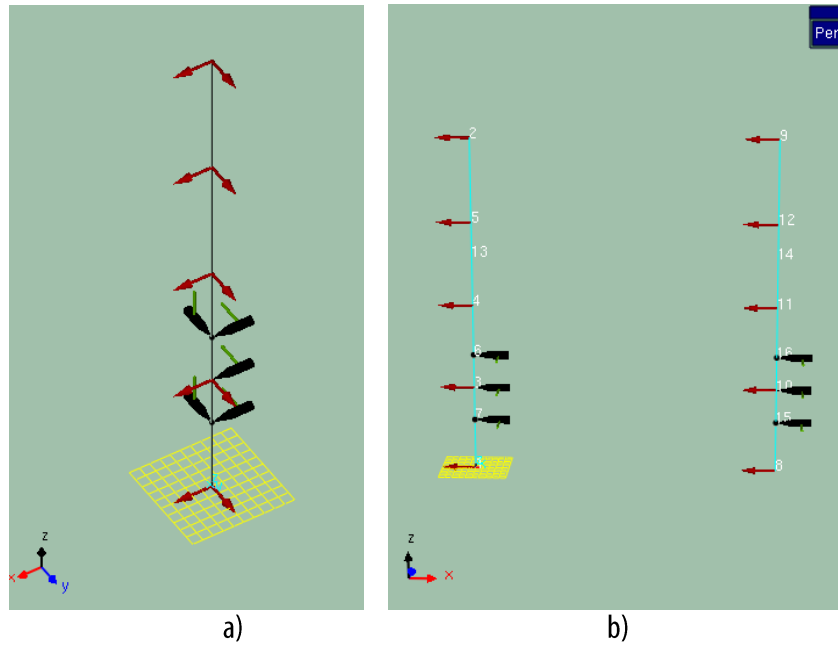


Fig. 20 Configuratie pozitionare accelerometre si sursa de excitare (ciocan cu senzor de forta tip 8208): a) stalp C3 ambele directii; b) stalpi C2-C3 configuratie longitudinala (Bruel & Kjeaar)

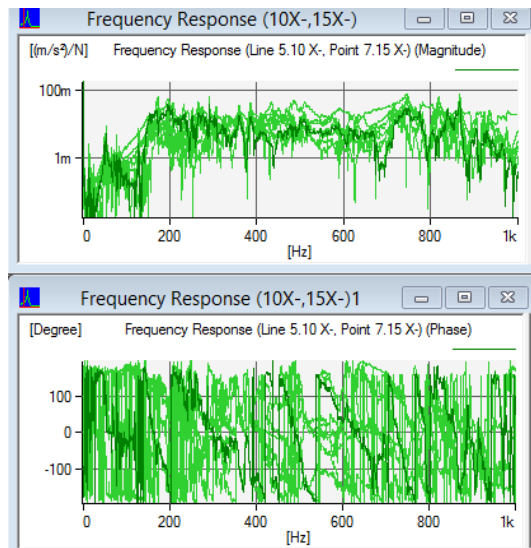


Fig. 21 Raspunsul in domeniul de frecvente pentru o lovitura cu ciocanul (Bruel & Kjeaar)

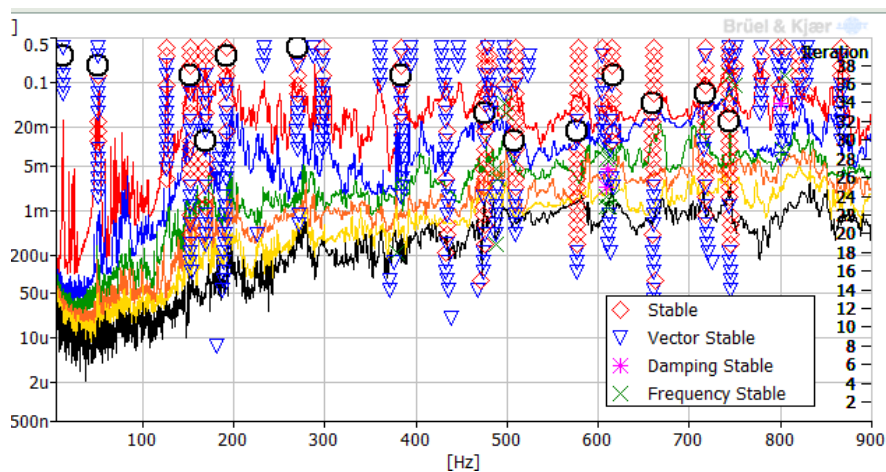


Fig. 22 Estimarea modurilor proprii de vibratie prin functii polinomiale (Bruel & Kjeaar)

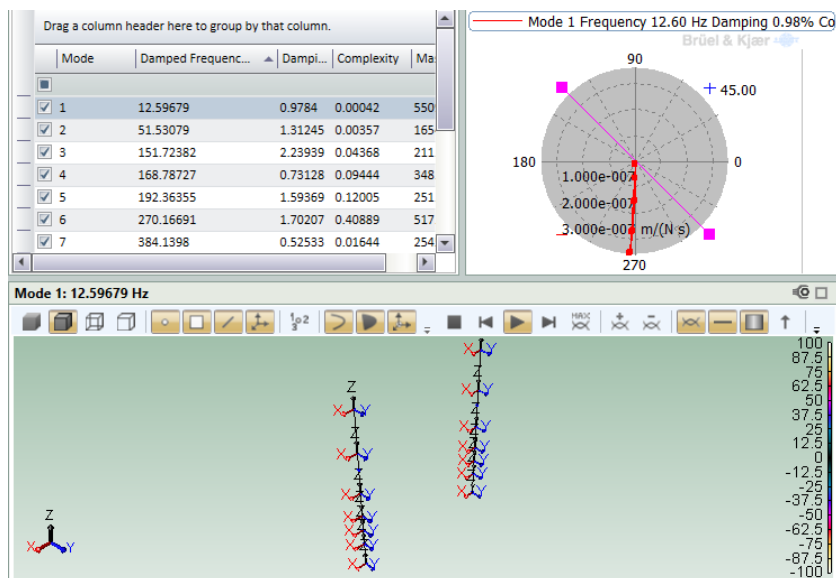


Fig. 23 Validarea frecvențelor proprii determinate experimental prin analiza gradului de complexitate – mod 1

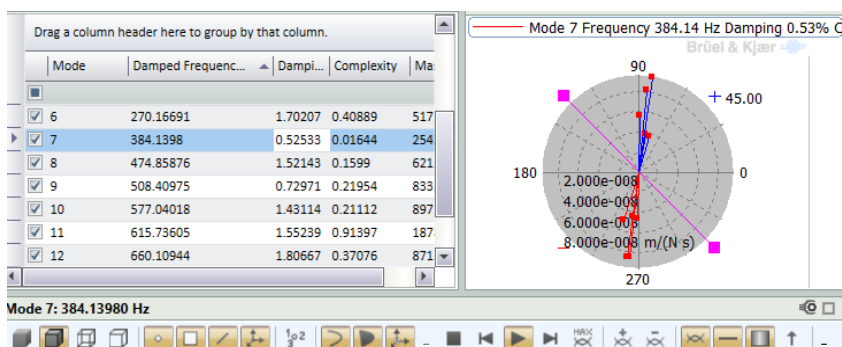


Fig. 24 Validarea frecvențelor proprii determinate experimental prin analiza gradului de complexitate- mod 7

	12.597	51.531	151.724	168.787	192.364	270.167	384.140	508.410	577.040	615.736	660.109	717.937	744.327
12.597	1.000	0.011	0.056	0.024	0.006	0.081	0.000	0.011	0.000	0.010	0.008	0.007	0.020
51.531	0.011	1.000	0.196	0.002	0.024	0.043	0.000	0.068	0.011	0.045	0.001	0.020	0.068
151.724	0.056	0.196	1.000	0.011	0.023	0.056	0.002	0.049	0.008	0.021	0.016	0.005	0.093
168.787	0.024	0.002	0.011	1.000	0.127	0.040	0.001	0.007	0.013	0.028	0.113	0.217	0.010
192.364	0.006	0.024	0.023	0.127	1.000	0.061	0.047	0.001	0.025	0.026	0.057	0.003	0.008
270.167	0.081	0.043	0.056	0.040	0.061	1.000	0.025	0.045	0.008	0.314	0.005	0.004	0.078
384.140	0.000	0.000	0.002	0.001	0.047	0.025	1.000	0.016	0.095	0.036	0.065	0.019	0.001
508.410	0.011	0.068	0.049	0.007	0.001	0.045	0.016	1.000	0.025	0.264	0.031	0.010	0.097
577.040	0.000	0.011	0.008	0.013	0.025	0.008	0.095	0.025	1.000	0.035	0.364	0.134	0.088
615.736	0.010	0.045	0.021	0.028	0.026	0.314	0.036	0.264	0.035	1.000	0.011	0.012	0.267
660.109	0.008	0.001	0.016	0.113	0.057	0.005	0.065	0.031	0.364	0.011	1.000	0.421	0.004
717.937	0.007	0.020	0.005	0.217	0.003	0.004	0.019	0.010	0.134	0.012	0.421	1.000	0.002
744.327	0.020	0.068	0.093	0.010	0.008	0.078	0.001	0.097	0.088	0.267	0.004	0.002	1.000

Fig. 25 Matricea pentru vizualizarea ortogonalității frecvențelor determinate experimental

## 6 Activitatea I.7: Pregătire încercări experimentale pe clădirea la scara reală la acțiunea exploziilor externe

Rezultatele preliminare obținute au permis validarea modelului numeric inițial și corectarea caracteristicilor dinamice pe baza măsurătorilor experimentale. Scenariile de explozie externă vor cuprinde mai multe încărcături explozive poziționate la distanțe variabile față de stâlpul central. Încărcăturile vor crește gradual, până la atingerea unei intensități capabile să conducă la cedarea locală a stâlpului și deformarea în domeniul plastic a cadrului perimetral. Încărcăturile gravitaționale adiționale vor fi alese pe baza simulărilor efectuate în cadrul activității I.1.

## 7 Activitatea I.8: Diseminarea rezultatelor cercetărilor

Echipele implicate au fost compuse din cercetători și tehnicieni de la partenerii implicați în proiect (UPT, INSEMEX). Rezultatele obținute în etapa I/2017 au fost prezentate pe scurt în secțiunile 2-6. Activitatea de coordonare a vizat mai multe etape, cele mai importante fiind următoarele:



- Proiectarea, fabricarea, transportul și montajul structurii metalice. Pentru aceasta au fost verificate documentațiile necesare și s-au făcut vizite atât la fabrica de confecții metalice din Tg. Jiu (discuții tehnice privind condițiile de execuție) cât și la platforma de încercări experimentale din cadrul INSEMEX (verificări și control infrastructura și montaj final structura metalică).
- Simulări numerice preliminare folosind rezultate experimentale obținute în proiectul CODEC. Au avut loc discuții și analize regulate privind calibrarea preliminară a modelului, rezultatele fiind folosite atât la proiectarea modelului cât și la pregătirea scenariilor de explozie.
- Masuratori experimentale in situ și teste la explozii interne. Echipa mixtă UPT-INSEMEX a avut întâlniri regulate la sediul INSEMEX și platforma pentru încercări experimentale.

Activitățile de coordonare au vizat și valorificarea și diseminarea rezultatelor cercetărilor. Diseminarea rezultatelor s-a făcut prin publicații în reviste și conferințe de specialitate, prezentări orale în cadrul unor conferințe și grupuri tehnice de specialitate; de asemenea, au fost pregătite propuneri de proiecte de cercetare care să valorifice experiența echipei și rezultatele deja obținute sau preconizate. A fost actualizată în permanentă pagina web a proiectului ([www.ct.upt.ro/centre/cemsig/frameblast.htm](http://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/frameblast.htm)).

#### Lucrări prezentate oral în cadrul unor conferințe naționale

1. Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D.; Kovacs, A.; Ghicioi, Evaluarea integrității structurale a structurilor în cadre metalice, cea de-a XXVII-A Conferința Națională AICPS, Brașov, România, mai 2017.
2. Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D.; Kovacs, A.; Ghicioi, E. Structuri în cadre din oțel supuse la explozii. CONMET2017 National Conference on Steel Structures. Iași, România: editura pim; 2017. p. 59-66.
3. Nunes, D.L.; Marginean, I.; Ciutina, A.; Dinu, F. Performance of steel end-plate connections with two and four bolts per row. CONMET2017 National Conference on Steel Structures. Iași, România: editura pim; 2017. p. 205-212.

#### Lucrări publicate și prezentate oral în cadrul unor conferințe internaționale

1. Marginean, I.; Dinu, F.; Dubina, D. Robustness performance of seismic resistant steel moment connections. 6th National Conference on Earthquake Engineering and 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology. București, România: CONPRESS, 2017. p. 329-336.
2. Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D.; Kovacs, A.; Ghicioi, E. Testing of a full-scale building under external blast. Ninth EFEE World Conference on Explosives and Blasting. Stockholm, Suedia: 2017. p. 23-35.
3. Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D.; Kovacs, A.; Ghicioi, E.; Pastrav, M.; Constantinescu, H. Blast-structure interaction in close-in detonations. SESAM2017 International Symposium on Occupational Health and Safety 8th Edition. București, România; 2017.
4. Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D.; Kovacs, A.; Ghicioi. Experimental testing and numerical modeling of steel frames under close-in detonations, PROTECT 2017, Gouangzhou, China, 10-12 decembrie 2017.

#### Lucrări publicate în reviste de specialitate indexate WOS

1. Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D. Experimental testing and numerical modelling of steel moment-frame connections under column loss. Engineering Structures. 2017 11/15;151:861-878.

#### Lucrări publicate în reviste de specialitate indexate

1. Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D.; Kovacs, A.; Ghicioi. Experimental testing and numerical modeling of steel frames under close-in detonations, ScienceDirect, Procedia Engineering 210C (2017) pp. 377-385, ISSN: 1877-7058.

#### Cursuri elaborate cu susținere din cadrul proiectului

1. European Erasmus Mundus Master Course - 520121-1-2011-1-CZ-ERA MUNDUS-EMMC Sustainable Constructions under natural hazards and catastrophic events - Design for fire and robustness: part2 Robustness - Jean Francois Demonceau & Florea Dinu.

#### Elaborare de propuneri de proiecte de cercetare

1. Cost proposal, Open Call Collection OC-2017-1, Title: Disaster resilient urban communities, DIRECT, Proposal Reference OC-2017-1-22103.
2. Access to the JRC Physical Research Infrastructures, Proposal full title: REtrofit of LArge panel concreTE systems,



## Bibliografie

- Alashker, Y.; El-Tawil, S.; Sadek, F. Progressive collapse resistance of steel-concrete composite floors. *Journal of Structural Engineering*. 2010;136(10):1187-1196.
- ASCE. Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. Vol. ASCE/SEI 41-13; 2013.
- Astaneh-Asl, A.; Madsen, E.A.; Noble, C.; Jung, R.; McCallen, D.B.; Hoehler, M.S.; Li, W.; Hwa, R. Use of catenary cables to prevent progressive collapse of buildings. Report No: UCB/CEE-STEEL-2001/02. 2001.
- CEN. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-7: Accidental actions Vol. EN 1991-1-7. Brussels: European Committee for Standardisation; 2006.
- Dinu, F.; Marginean, I.; Siguan, A.; Kovacs, A.; Ghicioi, E.; Vasilescu, D. Effects of close range blasts on steel frames. Experimental testing and numerical validation. *The Int. Colloq. on Stability and Ductility of Steel Structures SDSS*, 2016. p. 699-708.
- Dinu, F.; Marginean, I.; Dubina, D. Experimental testing and numerical modelling of steel moment-frame connections under column loss. *Engineering Structures*. 2017 11/15;151:861-878.
- DoD. Unified facilities criteria: design of buildings to resist progressive collapse. Vol. UFC 4-023-03-with Change 1. Washington (DC), US: Department of Defense; 2016.
- ELS. Extreme loading for structures. Durham, NC: Applied Science International; 2017.
- Krishnappa, N.; Bruneau, M.; Warn, G.P. Weak-axis behavior of wide flange columns subjected to blast. *Journal of Structural Engineering*. 2013;140(5):04013108.
- Mazurkiewicz, L.; Malachowski, J.; Baranowski, P. Blast loading influence on load carrying capacity of I-column. *Engineering Structures*. 2015;104:107-115.
- Nassr, A.A.; Razaqpur, A.G.; Tait, M.J.; Campidelli, M.; Foo, S. Dynamic response of steel columns subjected to blast loading. *Journal of Structural Engineering*. 2014;140(7):04014036.
- Sadek, F.; El-Tawil, S.; Lew, H. Robustness of composite floor systems with shear connections: Modeling, simulation, and evaluation. *Journal of Structural Engineering*. 2008;134(11):1717-1725.
- Yang, B.; Tan, K. Different types of steel joints under catenary action—Part 1: Experimental tests. 6th European Conference on Steel and Composite Structures, EUROSTEEL, Budapest, Hungary; 2011. p. 291-296.