

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII
DEPARTAMENTUL DE CONSTRUCȚII METALICE ȘI MECANICA CONSTRUCȚIILOR
Str. Ioan Curea nr.1, 300224, Timișoara, ROMÂNIA
tel. 0256/403911; fax 0256/403917

Titlu proiect: **Concepția structurală și proiectarea pe baza controlului mecanismului de cedare a structurilor multietajate supuse la acțiuni accidentale (CODEC)**

Nr. contract: **PN II nr. PCCA 55/2012**

Raport etapa IV/finala 2015

Denumire etapa:

Etapa IV: Studii numerice și încercări pe specimene reconfigurate prin simulări numerice:

- Activitatea IV.1: Studii numerice parametrice pentru evaluarea robusteții structurilor în cadre
- Activitatea IV.2: Execuția specimenelor experimentale reconfigurate prin simulări numerice
- Activitatea IV.3: Încercări experimentale pe specimene reconfigurate prin simulări numerice
- Activitatea IV.4: Întalnire de lucru
- Activitatea IV.5: Studii de fezabilitate tehnică privind evaluarea prin calcul a robusteții structurilor în cadre
- Activitatea IV.6: Studii de caz privind aplicarea metodologiei de calcul la robustețe la proiectarea structurilor noi și la verificarea celor existente -partea 1

Cuprins:

1.	Rezumatul etapei.....	2
2.	Studii numerice parametrice pentru evaluarea robusteții structurilor în cadre (activitatea IV.1).....	2
3.	Încercări experimentale pe specimene reconfigurate prin simulări numerice (activitatea IV.2, IV.3).....	4
3.1.	Încercări experimentale pe structuri în regim monoton	4
3.2.	Încercări experimentale pe noduri la acțiunea exploziei	8
3.2.1.	Studii preliminare și configurarea nodurilor	8
3.2.2.	Încercări la explozie pe noduri grinda-stâlp	10
4.	Studii de caz: aplicarea metodologiei de calcul la robustețe pentru proiectarea și verificarea structurilor în cadre (activitatea IV.5, IV.6) 13	
5.	Rezultate obținute și modul de diseminare a rezultatelor	17
6.	Bibliografie	19

1. Rezumatul etapei

Etapă 4/2015 a cuprins șase activități, dintre care: două activități au avut ca obiectiv realizarea programului experimental, o activitate a avut ca obiectiv dezvoltarea unor studii parametrice pe structuri în cadre afectate de acțiuni accidentale iar două activități au avut ca obiective aplicarea metodologie de proiectare la robustețe pentru structuri în cadre. Activitatea nr. 4 a fost dedicată pregătirii și desfășurării unei întâlniri în cadrul proiectului în care au fost prezentate rezultatele principale și stadiul cercetărilor. Activitățile experimentale au cuprins două tipuri principale de încercări și anume încercări pe structuri cu planșeu la scenariu de tip stâlp lipsă și încercări pe noduri la explozie. Încercarea pe structuri a fost realizată pe o structură cu două deschideri și două travei, realizată cu planșeu compus și grinzi compuse. Rezultatele au arătat că tabla cutată colaborată nu poate asigura o conlucrare adecvată în cazul cedării unui stâlp. Sunt necesare studii suplimentare pentru a valida aceste concluzii. Cel de al doilea program experimental s-a desfășurat pe noduri în T supuse la acțiunea directă a exploziei. Au fost încercate două specimene, unul cu stâlpul după direcția maximă și unul după direcția minimă. Au fost folosite diferite încărcături explozive, amplasate la distanțe diferite, în interiorul unui buncăr. Rezultatele au permis obținerea curbei presiune – distanță, care poate fi folosită în analizele de robustețe la explozie. Merita precizat și faptul că interesul publicului larg pentru problemele legate de siguranța clădirilor a cunoscut o creștere semnificativă în ultima perioadă. Ca urmare, în cadrul unui buletin informativ al unei televiziuni de știri a fost difuzat un amplu material despre programul de cercetare din cadrul CODEC, fiind difuzate informații despre obiectivele proiectului, despre echipa de cercetare și unele aspecte din timpul încercării pe structura 3D din luna noiembrie 2015 (vezi fotografie de mai jos).



În căutarea clădirii perfecte. Ingineri și constructori români dezvoltă construcția rezistentă la cutremur și explozie

Modelele numerice validate pe baza încercărilor au fost folosite pentru proiectarea sau verificarea unor structuri la acțiuni accidentale extreme, cum ar fi explozie, foc sau impact. Aceste analize permit elaborarea unui ghid de proiectare/verificare a structurilor pe baza mecanismului de cedare. În cadrul etapei următoare, aferente anului 2016, se va finaliza programul de simulări numerice și studiile de caz și se va elabora ghidul de calcul, care va conține recomandări de calcul și alcătuire, cerințe minime pentru elemente și îmbinări și propuneri de intervenție în caz de avarie a clădirilor.

2. Studii numerice parametrice pentru evaluarea robusteții structurilor în cadre (activitatea IV.1)

Pentru evaluarea răspunsului la acțiuni accidentale, au fost proiectate trei tipuri de structuri în cadre. Sistemele considerate sunt (Fig. 1):

- Structura în cadre fără contravântuiri (MRF), de 6 și 12 nivele, deschideri de 5m și 7.5m
- Structura în cadre cu contravântuiri centrice în V și în X (CBF), de 6 și 12 nivele, deschideri de 5m și 7.5m
- Structura în cadre cu contravântuiri excentrice cu link scurt și lung (EBF), de 6 și 12 nivele, deschideri de 5m și 7.5m

Pentru proiectarea structurilor s-a folosit programul de calcul SAP2000. Încărcările aplicate structurilor au fost grupate în două situații de proiectare:

- situația de proiectare permanentă
- situația de proiectare seismică

Proiectarea antisismică s-a făcut pentru două zone de intensitate seismică, una redusă, caracterizată de o accelerație de proiectare $a_g=0.1g$ și una ridicată, caracterizată de o accelerație de proiectare $a_g=0.3g$. Verificarea mecanismului plastic și a performanțelor seismice s-a făcut printr-o analiză statică neliniară (push-over).

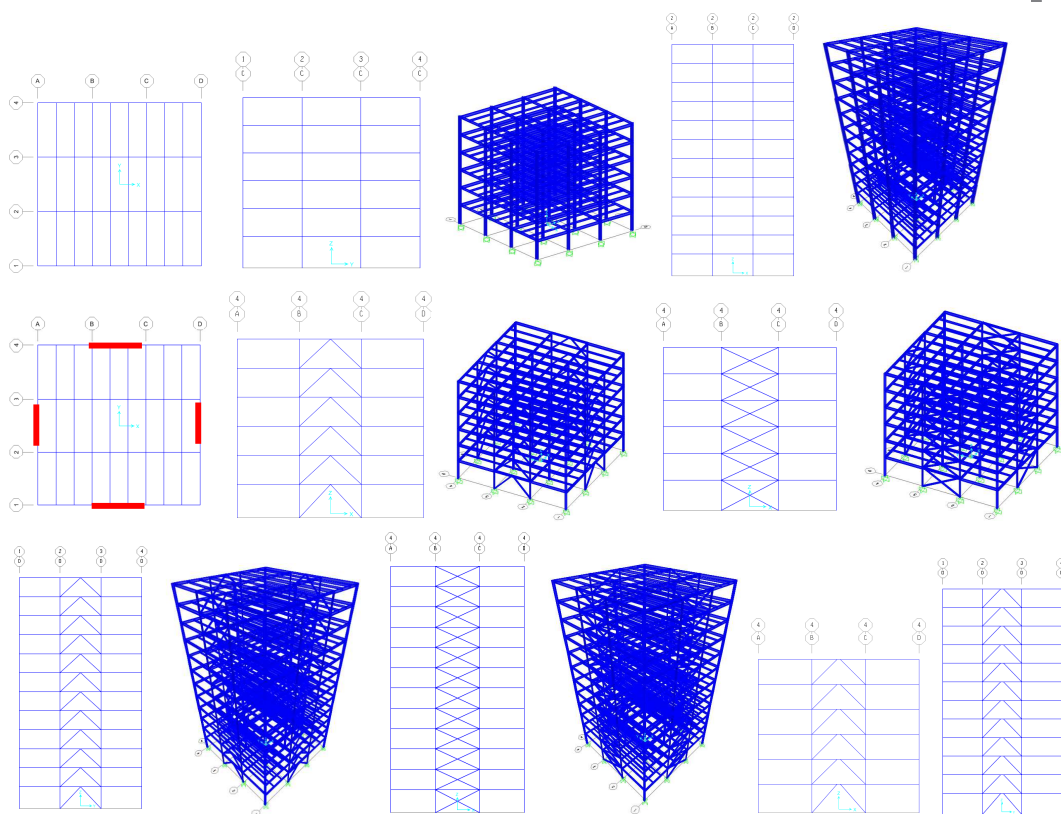


Fig. 1 Modelle structurale studiate

Analiza de robustețe a cuprins diferite scenarii posibile de hazard, modelate prin cedarea unuia sau mai multor elemente de rezistență verticale (stâlpi), inclusiv a unei contravântuiri acolo unde este cazul. Fig. 2 prezintă forma deformată a structurilor în urma cedării unor elemente structurale, iar Fig. 3 prezintă evoluția în timp a deplasării verticale și curbele moment – rotire în grinzi. Pentru a observa influența încărcărilor laterale s-a efectuat un studiu. Rezultatele sunt prezentate în Fig. 4.

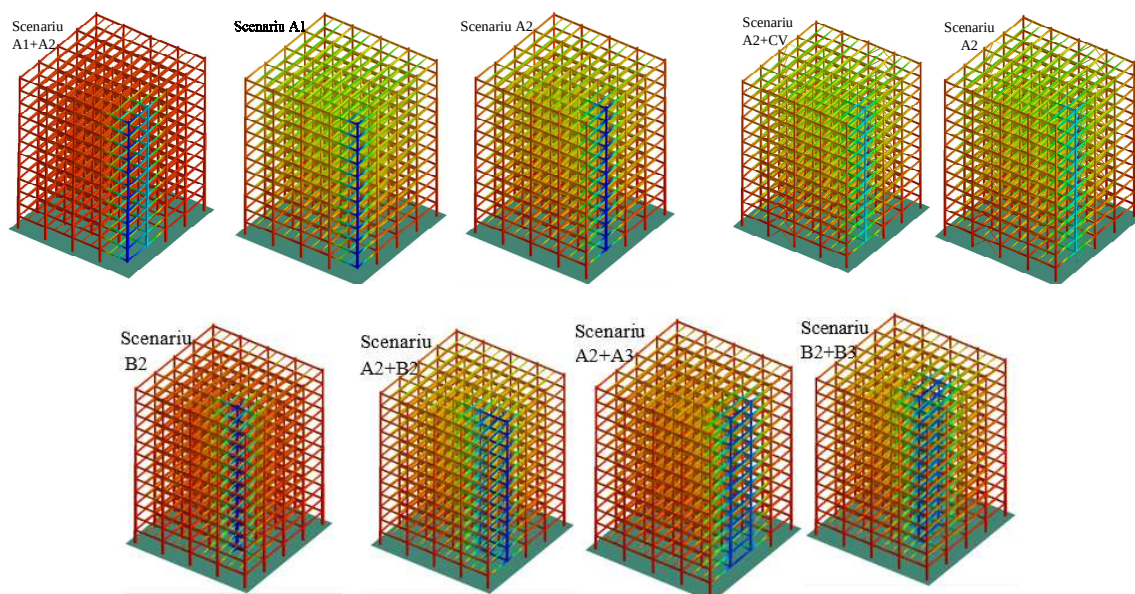


Fig. 2 Deformatele structurilor, ELS: a) structura MRF de 12 etaje; b) structura CBF de 12 etaje

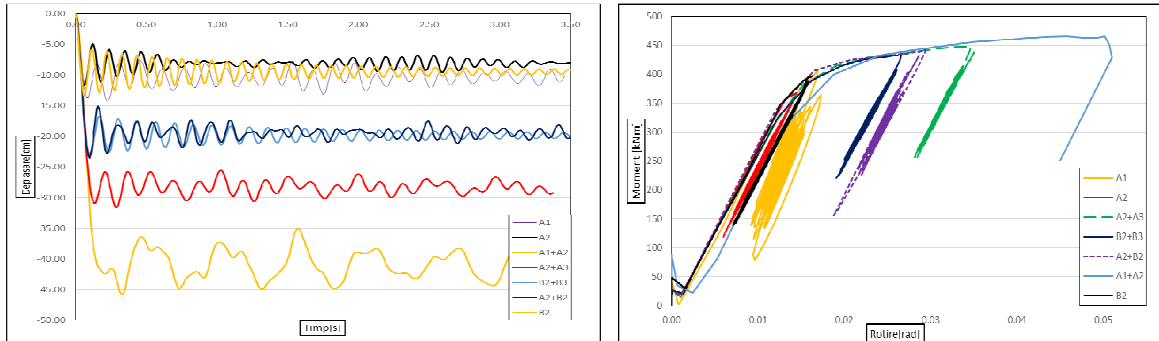


Fig. 3 Variația deplasării verticale în timp și curba moment-rotire în grinzi pentru structurile MRF

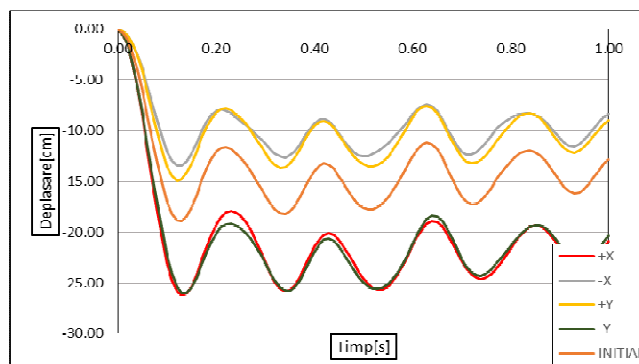


Fig. 4 Variația deplasării verticale în timp - influența încărcărilor laterale

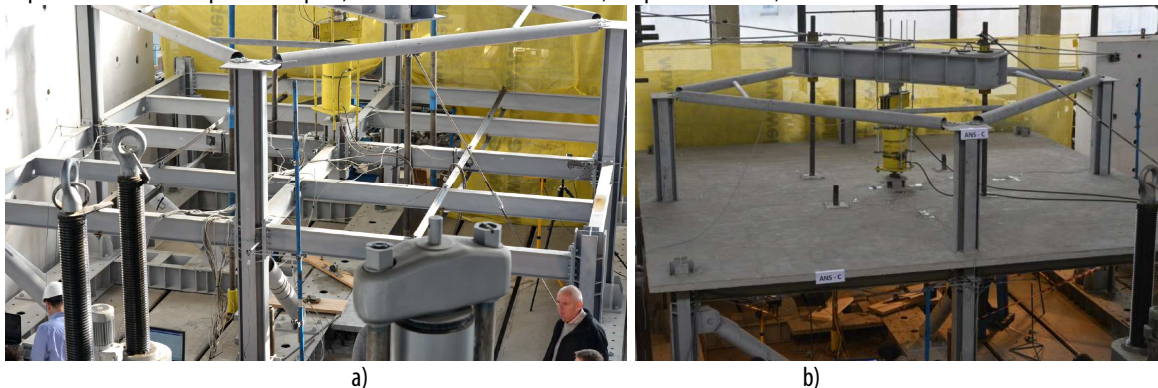
3. Încercări experimentale pe specimene reconfigurate prin simulări numerice (activitatea IV.2, IV.3)

3.1. Încercări experimentale pe structuri în regim monoton

Proiectarea s-a făcut plecând de la nivelul structurii în ansamblu. Pentru aceasta, s-a folosit ca structură de referință o structură cu 6 etaje proiectată și analizată în etapa 1/2012 a proiectului. Din structură s-au selectat subansamblurile pentru programul experimental, respectiv un modul alcătuit din două travei și două deschideri. În fazele anterioare ale proiectului (2013, 2014) au fost realizate și testate primele două module experimentale. Primul model a fost alcătuit din grinzi și stâlpi metalici (Ans-M), iar cel de al doilea din elemente similare dar are cu planșeu de beton armat (Ans-C). Cel de al treilea specimen, denumit Ans-SD, fost alcătuit din grinzi și stâlpi metalici și planșeu de beton armat în conlucrare cu tabla cutată colaborantă (Fig. 4).

Simularea etajelor superioare și a deschiderilor adiacente s-a realizat prin intermediul prinderilor laterale la nivelul grinzilor și în plus a fost necesară împiedicarea rotirii excesive stâlpilor în consolă. Soluția pentru rezolvarea acestor aspecte este următoarea:

- pentru prinderea la nivelul grinzilor, au fost dispuse elemente de legătură (contrafișe) din țevi (S350)
- pentru stabilizarea capetelor stâlpilor, s-a utilizat un sistem articulat, din profile tubulare;



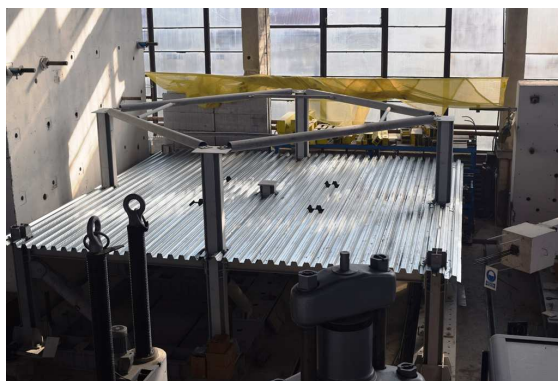


c)

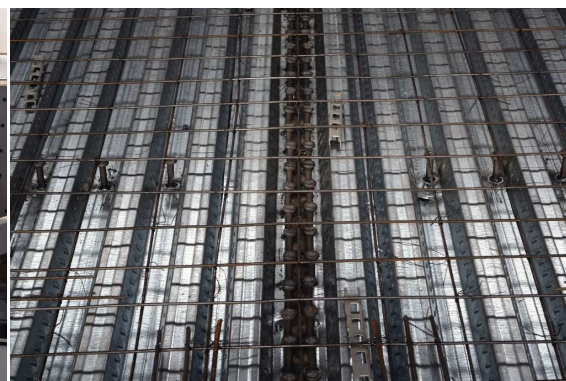
Fig. 4 Stand și specimene experimentale pentru încercarea pe structură la cedarea unui stâlp: a) Ans-M (testat 2014); Ans-C (testat 2014); c) Ans-SD (testat 2015);

Fig. 5 prezintă câteva imagini din timpul montajului structurii, cu elementele din oțel, tabla cutată, sudare conectori și montaj armatura, turnarea betonului în placă și vedere finală înainte de încercare.

Specimenul a fost instrumentat cu captori de deplasare și timbre tensometrice pentru a evalua deplasările și deformările specifice din structură. Forța introdusă în stâlpul central a fost monitorizată printr-un captor de forță. În plus, a fost folosit și un sistem de corelare digitală a imaginii (DIC), care permite evaluarea cu mare precizie a deformărilor specifice până la ruperea materialului. Pentru specimenul încercat, s-a ales pentru această monitorizare extremitatea C a grinzii 2B-2C. Fig. 7 prezintă câteva fotografii cu dispunerea dispozitivelor pentru captarea datelor.



a)



b)



c)



d)

Fig. 5 Specimen experimental Ans-SD: a) montarea tablei cutate amprentate; b) montarea armaturilor și sudarea conectorilor; c) turnarea betonului în placă; d) specimenul înainte de încercare

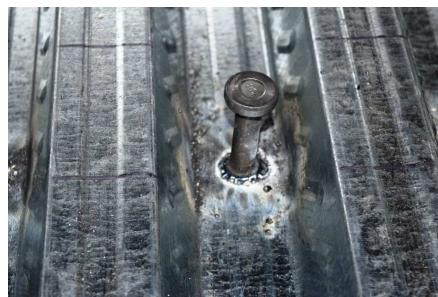


Fig. 6 Detaliu de sudare conectori

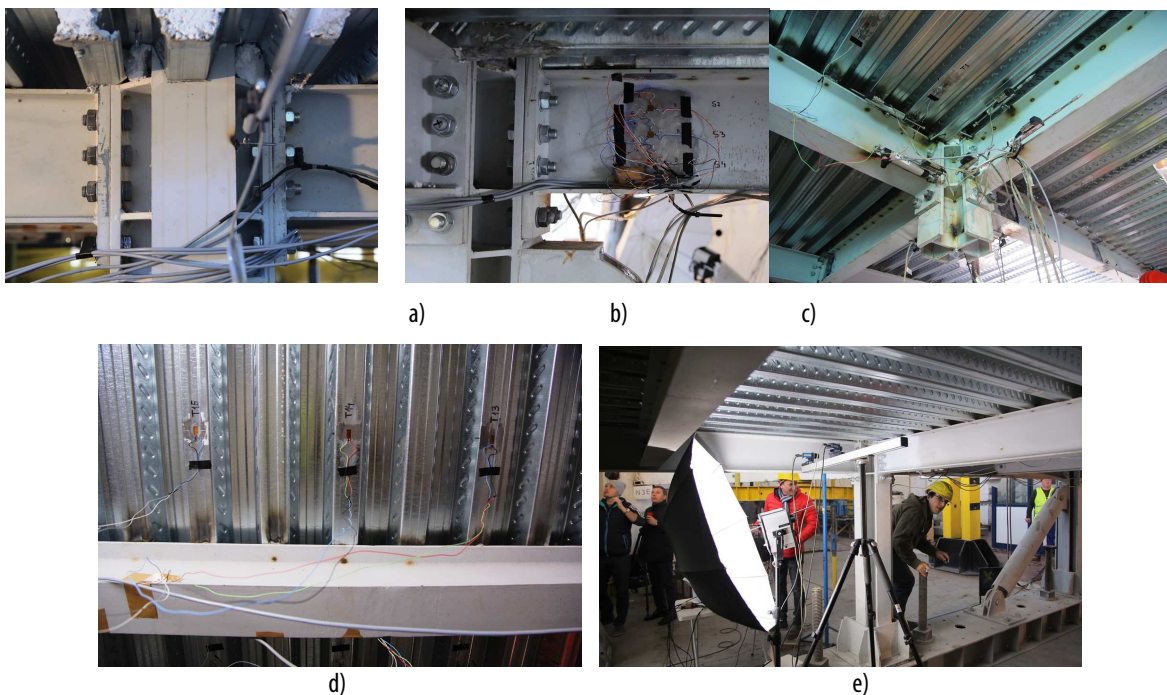


Fig. 7 Instrumentare specimen experimental Ans-SD: a) traductori deplasare nod; b) timbre tensometrice pe grinda; c) vedere cu nodul central; d) timbre tensometrice pe tabla cutată; e) sistemul de corelare digitală a imaginii DIC

Înainte de încercarea experimentală pe structură, s-au făcut încercări pe materiale pentru determinarea caracteristicilor mecanice, Fig. 8. Tabelul 1 prezintă caracteristicile mecanice pentru elementele din oțel, șuruburi, armatură și beton.

Tabelul 1: Caracteristici mecanice pentru materiale

Element	f_y	f_u	ϵ_y	A_{gt}	$f_{ck, cub}$
	N/mm ²	N/mm ²	(%)	(%)	N/mm ²
Inimă gr. principală IPE220, t = 9.2 mm	345	464	0.16	27.99	-
Talpă gr. principală IPE220, t = 5.9 mm	353	463	0.17	30.39	-
Inimă stâlp, t = 10 mm	407	539	0.19	27	-
Talpă stâlp, t = 16 mm	420	529	0.20	27	-
Placă de capăt, t = 20 mm	408	535	0.19	24.44	-
Șuruburi M20, gr. 10.9	905	1081	-	12	-
Beton	-	-	-	-	30
Armătură $\phi 6$ mm	346	480	0,16	30.00	-

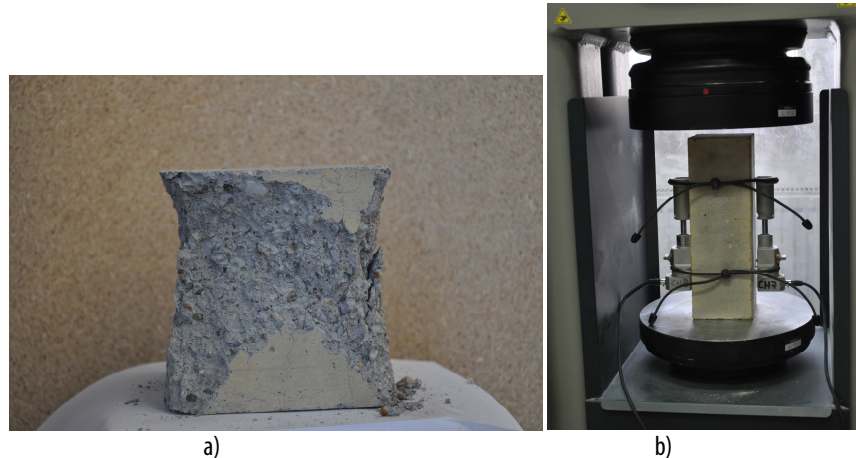


Fig. 8 Incercari pe probe beton prelevate din placa pentru determinarea caracteristicilor betonului: a) incercarea la compresiune pentru determinarea clasei betonului; b) incercarea pentru evaluarea modului de elasticitate

Fig. 9 prezinta fotografii din timpul incercarii si la atingerea cedarii, iar Fig. 10 prezinta modul de cedare pentru specimenul Ans-SD. Cedarea s-a produs prin ruperea la intindere a grinzii in zona nodului central, in urma dezvoltarii fortelor de intindere. Nodurile marginale au avut deformatii plastice mari fara insa sa suferi cedari ci doar deformatii plastice moderate. Se poate vedea capacitatea mare de deformare a sistemului cu legaturi pe doua directii. Fig. 11 prezinta curba forta-deplasare pentru cele trei specimene spatiale incercate. Se poate vedea ca specimenul cu planseu compus Ans-SD are o rigiditate intermediara, intre Ans-M si Ans-C. Dupa desprinderea betonului de tabla cutata insa, capacitatea de rezistenta este data in intregime de structura metalica. Lipsa armaturilor de la partea inferioara a placii (tabla cutata are rol de armatura intinsa) a condus la capacitati de rezistenta mai mici decat in cazul specimenului Ans-C.



Fig. 9 Vedere de ansamblu cu specimenul Ans-SD in timpul incercarii (s) si dupa incercare (d)



Fig. 10 Cedarea imbinarii grinda-stalp si a placii de beton

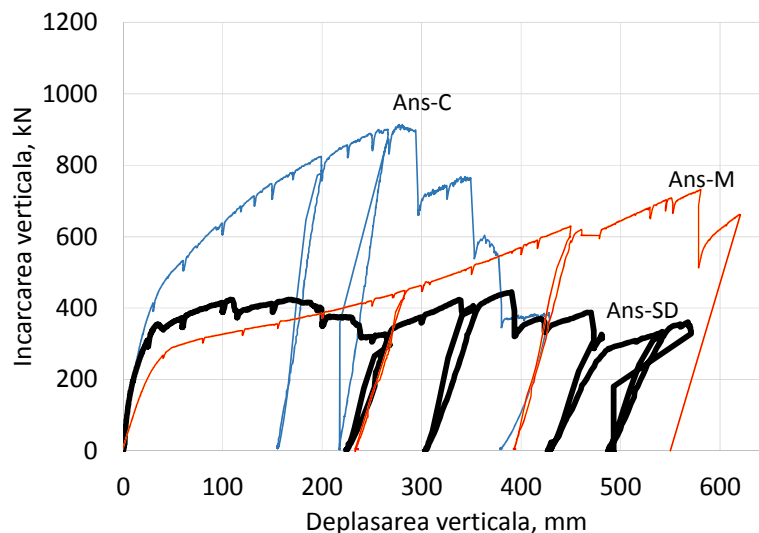


Fig. 11 Curba experimentală forță - deplasare pentru stâlpul central pentru cele 3 specimene

3.2. Incercări experimentale pe noduri la acțiunea exploziei

3.2.1. Studii preliminare si configurarea nodurilor

Exploziile externe sunt de regulă produse din cauze intenționate, sursa fiind atât explozivii clasici (TNT, C-4, Semtex) cât și explozivi artizanali, cei mai des întâlniți fiind cei pe bază de azotat de amoniu, un îngrășământ chimic folosit pe scară largă în agricultură. Din cauza caracterului intenționat, aceste evenimente nu pot fi modelate pe baza unei distribuții de tip Poisson. Aceste atacuri intenționate se pot produce oriunde pe glob, chiar dacă anumite zone sau țări sunt mai afectate. În anul 1997 de exemplu, în SUA s-au produs peste 250 de atacuri cu bombă. Acest lucru conduce la o probabilitate medie de producere de ordinul 2×10^{-6} /clădire. Exploziile produse de explozivi, denumite și detonații, creează unde de șoc care se propagă cu viteze mari dinspre punctul de detonare. Faza inițială, de presiune, este urmată de o alta, mai lungă, de suucțiune. Presiunea din faza inițială se poate aproxima printr-o încărcare de tip impuls de formă triunghiulară, care ajunge instantaneu la valoarea maximă, iar apoi scade aproape liniar, durata depinzând de mărimea exploziei și de distanța față de sursă, vezi Fig. 12. Spre deosebire de exploziile de gaz, detonațiile induc efecte dinamice importante, astfel că este importantă atât modelarea acțiunii cât și influența efectelor dinamice asupra materialului.

Din punct de vedere al efectelor asupra structurii, este foarte importantă distanța dintre sursa exploziei și structură. Atunci când încărcătura explozivă este amplasată la distanță mai mare față de structură, cedarea se produce de regula din încovoiere. Presiunea degajată de unda de șoc poate fi considerată uniform distribuită pe elementul respectiv. O explozie la mică distanță de clădire însă, provoacă o cedare localizată, de tip forfecare sau perforare. Acest lucru este cauzat de rigiditatea elementului structural, care produce o rezistență inerțială la explozie. Cedarea de tip forfecare-perforare are loc înainte ca elementul structural să poată să răspundă prin încovoiere.

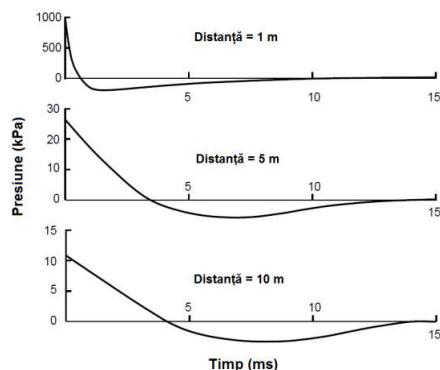


Fig. 12 Curba presiune-timp pentru detonarea unei încărcături explozive

Calculul presiunii de vârf (sau suprapresiune) a undei aeriene (de șoc), generată de încărcătura echivalentă TNT, se face cunoscându-se faptul că suprapresiunea este o funcție care depinde de distanță, de masa de exploziv și de condițiile locale, în literatură fiind utilizate mai multe formule empirice. Pe scară largă se folosește distanța scalată Z . Această metodă arată că două încărcături explozive din același material și de aceeași formă dar de mărimi diferite produc la distanța scalată Z aceeași undă de șoc. Distanța scalată, Z , se exprimă prin relația:

$$Z = D/(W^{1/3}) \quad (1)$$

în care:

- Z este distanța scalată, în $m/kg^{1/3}$
- D este distanța față de sursă, în m
- W este mărimea încărcăturii, în kg (TNT sau echivalent TNT)

În funcție de mărimea încărcăturii și distanță, se pot calcula parametrii fazei pozitive a exploziei și anume maximul presiunii pozitive incidente, p , impulsul incident, i , durata fazei pozitive, t_d și timpul până la sosirea undei de șoc, t_a (Fig. 13). De exemplu, în cazul atacului asupra clădirii Oklahoma City, din anul 1995, produs la o distanță de $D = 1.5$ m cu o încărcătură de 1814 kg echivalent TNT, a rezultat o distanță scalată $Z = 0.12 m/kg^{1/3}$. În funcție de această distanță, s-a putut calcula valoarea maximă a presiunii incidente, care a ajuns la circa 20 000 de kPa. Este evident faptul că la aceste intensități ale presiunii este greu de proiectat elemente care să poată să reziste fără să cedeze. De altfel, în cazul acestui atac, clădirea a cedat fiind distrusă în proporție de peste 80%.

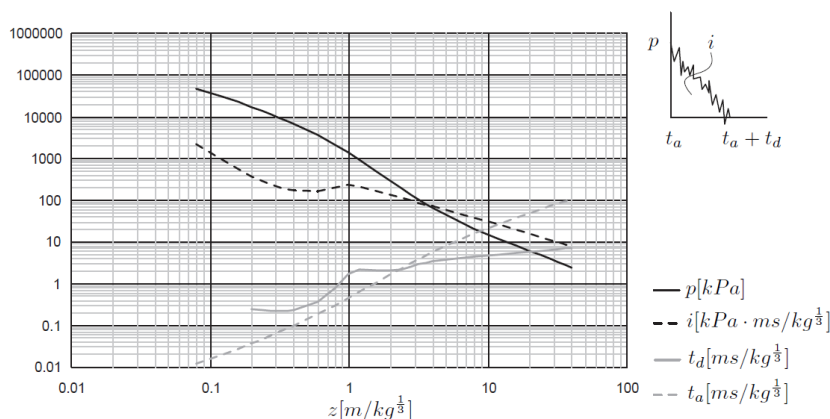


Fig. 13 Variația parametrilor fazei pozitive a undei de șoc cu distanța scalată

Folosirea distanței scalate Z este posibilă doar pentru explozii în spații deschise. O formă mai generală pentru determinarea presiunii de vârf, care ține cont, pe lângă distanță și de masa de exploziv și de condițiile locale, a fost dezvoltată de Richards și Moore [8]:

$$P = A \times \left(\frac{D}{(W)^b} \right)^a \quad (2)$$

în care:

- P este presiunea de vârf a undei aeriene generată de explozie (kPa)
- A este constanta site-ului (se determină experimental)
- a este exponentul site-ului (se determină experimental și are întotdeauna valoare negativă)
- b este exponentul site-ului pentru masa încărcăturii de exploziv (se determină experimental)
- D și W sunt descrise în ec. 1.

Prin calibrări experimentale, formula prezentată în ec. 2 se poate folosi și în cazul exploziilor produse la interior.

Au fost încercate două specimene similare, la care stâlpii au fost solicitați după direcția de inerție maximă sau minimă. Programul de teste experimentale a permis, pe lângă efectuarea de înregistrări fotografice cu deformările și avariile ansamblor testate și măsurarea presiunilor generate de unda de șoc aeriană, folosind pentru aceasta relația (2). Astfel, s-au determinat experimental coeficienții A , a și b , testele efectuându-se în interiorul unui buncăr, nu în spațiu deschis, așa cum era condiția inițială a formulei distanței scalate (ec. 1).

3.2.2. Încercări la explozie pe noduri grinda-stâlp

Nodurile pentru încercări au fost realizate în două variante de alcătuire:

- stâlp intermediar, inima stâlpului perpendicular pe planul cadrului;
- stâlp intermediar, inima stâlpului în planul cadrului.

Stâlpii au fost realizați din profile HEB260, cu tălpile reduse la o lățime de 130 de mm și grinzi IPE220. Îmbinările au fost realizate cu plăci de capăt de grosime 20 de mm și 8 șuruburi M20 gr. 10.9. Otelul din elemente a fost S235. Fig. 14 prezintă ansamblul experimental fixat în buncăr. Încercarea a fost realizată într-un buncăr special, folosit pentru încercări de exploziv, existent în cadrul Insemex Petroșani. Nodul a fost supus acțiunii directe a exploziei, fără încărcări verticale pe stâlp sau pe grinzi.

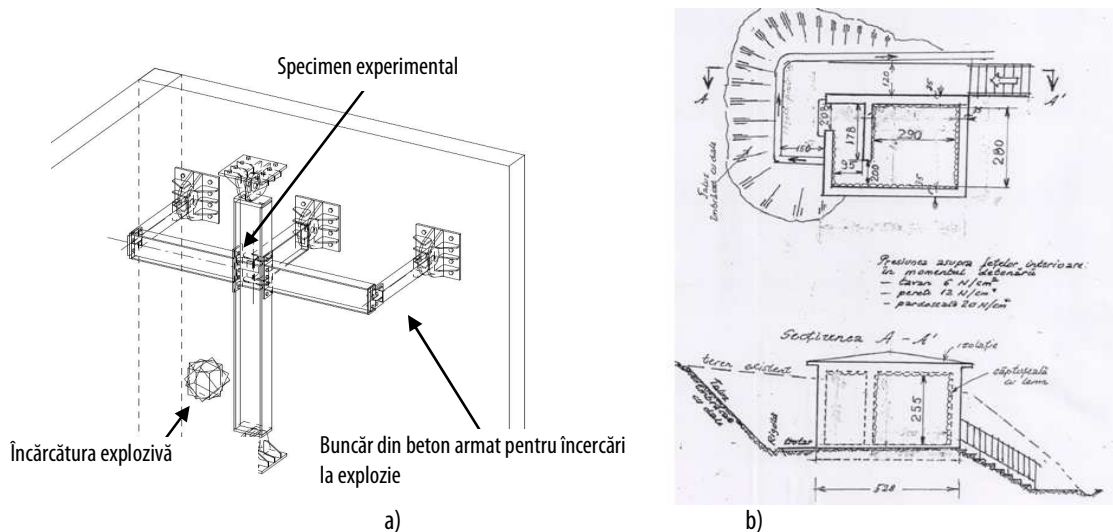


Fig. 14 Specimenul experimental pentru încercări la explozie (a) și planul buncărului de încercări exploziv (b)

Pentru evaluarea în primă fază a coeficienților A , a și b folosiți în ec. 2, a fost folosit primul specimen și un montaj metalic special (Fig. 15). Pe acesta s-au montat doi traductori de presiune (Kiestler), montaj amplasat în zona de eșapare a presiunilor de explozie din buncăr la o distanță de 4 m față de ansamblul „stâlp-grindă” (**Error! Reference source not found.**), care a fost supus efectelor detonării controlate a unor încărcături explozive (Fig. 16). Încărcătura explozivă a fost de tip RIOMAX (cu echivalența 1 TNT). Primele patru explozii au utilizat masele $m_1=125$ g, $m_2=250$ g, $m_3=500$ g și $m_4=1000$ g, amplasate liber suspendat în proximitatea grinzilor, la jumătatea acestora în interiorul ansamblului. Ultima explozie a folosit o încărcătură $m_5=1000$ g pe exteriorul stâlpului la jumătatea acestuia, rezultatele fiind prezentate în următoarea secțiune.

În urma primei explozii - încărcătura explozivă de masă $m_1=125$ g (un singur cartuș de exploziv de 125 g), nu s-au constatat deformări ale ansamblului stâlp-grinzi-suport. Presiunea undei de șoc aeriene (suprapresiunea) a fost $p_{1,max}=20$ kPa.

În urma celei de-a doua explozii - încărcătura explozivă de masă $m_2=250$ g (2 cartușe de exploziv de câte 125 g fiecare), nu s-au constatat deformări ale ansamblului stâlp-grinzi-suport. Presiunea undei de șoc aeriene (suprapresiunea) a fost $p_{2,max}=40$ kPa.

În urma celei de-a treia explozii - încărcătura explozivă de masă $m_3=500$ g (4 cartușe de exploziv de câte 125 g fiecare), s-au constatat deformări ale grinzii în afara planului, precum și deformarea puternică a elementelor de îmbinare cu stâlpul, vezi Fig. 17. Presiunea undei de șoc aeriene (suprapresiunea) a fost $p_{3,max}=80$ kPa.

În urma celei de-a patra explozii - încărcătura explozivă de masă $m_4=1000$ g (8 cartușe de exploziv de câte 125 g fiecare), s-au constatat deformări ale grinzii în afara planului și deformarea puternică a elementelor de îmbinare cu stâlpul. Presiunea undei de șoc aeriene (suprapresiunea) a fost $p_{4,max}=175$ kPa.

În urma celei de-a cincea explozii - încărcătura explozivă de masă $m_5=1000$ g (8 cartușe de exploziv de câte 125 g fiecare), s-au constatat deformări puternice ale grinzii în afara planului și ale stâlpului și ruperea inimii în zona de racordare cu talpa exterioră pe o lungime de circa 300 de mm (**Error! Reference source not found.**). Presiunea undei de șoc aeriene (suprapresiunea) a fost $p_{5,max}=1400$ kPa, vezi **Error! Reference source not found.**



Fig. 15 Montaj metalic special

Legendă:

Încărcături de mase m_1, m_2, m_3 ●

Încărcături de mase m_4, m_5 ●

Traductori de presiune ■

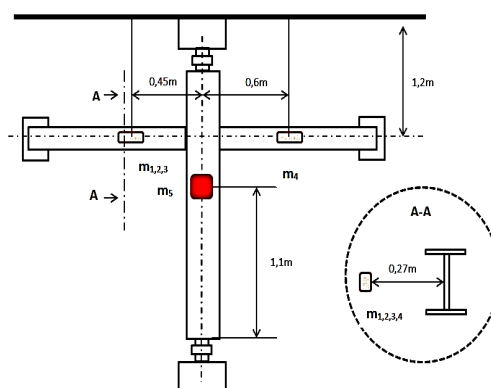
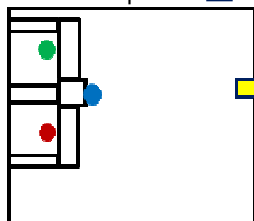


Fig. 16 Amplasarea încărcăturilor explozive (s) și ansamblul stâlp-grinzi și montajul pentru traductori (d)



Fig. 17 Deformații pe grindă și în îmbinare grindă-stâlp, încărcătura explozivă de masă $m_3=500$ g



Fig. 18 Deformații în stâlp și ruperea în inimă la racordul cu talpa, încărcătura explozivă de masă $m_5=1000$ g

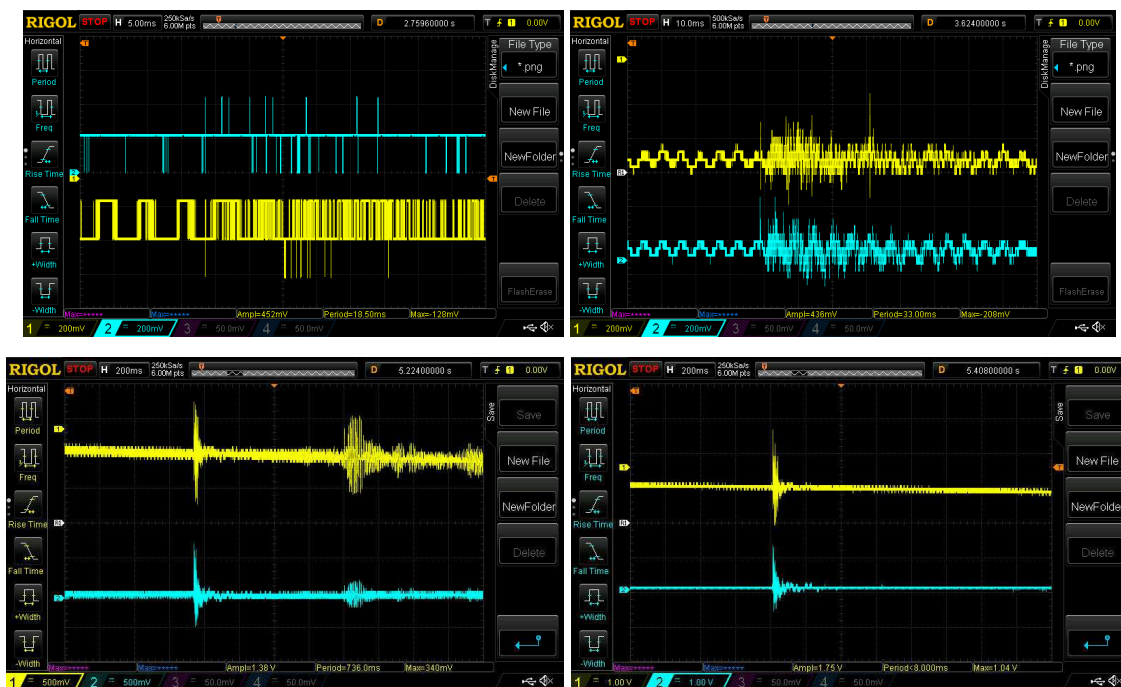


Fig. 19 Înregistrare oscilogramă, $m_1 = 125$ g, $m_2 = 250$ g, $m_3 = 500$ g, $m_4 = 1000$ g

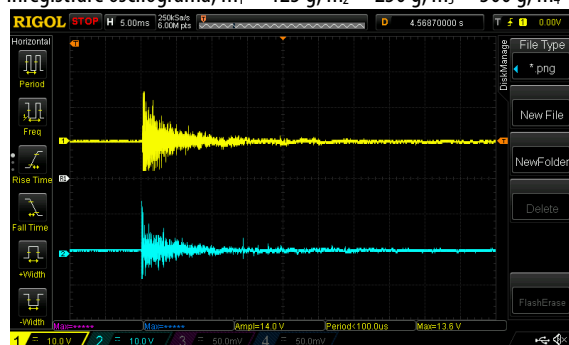


Fig. 20 Înregistrare oscilogramă, $m_5 = 1000$ g

Pentru calibrarea sistemului experimental, s-a detonat o încărcătură explozivă cu masa $m=125$ g la distanța $d=0.27$ m față de ansamblul metalic al traductorilor de presiune. Valoarea măsurată a fost $P_{\text{calibrare}}=1400$ kPa. Având la dispoziție aceste valori înregistrate ale presiunilor, s-au putut determina parametrii specifici buncărului, respectiv $A=3850$, $a=-0.73$ iar $b=3.87/3=1.29$, Fig. 21. În acest fel se pot determina

presiunile la care au fost supuse zonele de proximitate ale încărcăturii explozive și anume suprafețele metalice ale ansamblului stâlp-grindă, vezi Fig.22

Distanța între încărcătura explozivă TNT și obiectul de interes- traductorii de presiune (m)	Coefficient de obstrucționare a undei directe Cobstr=8 (atunci când există un obiectul rigid între încărcătura explozivă și traductorii de presiune, determinat experimental în cazul de față este pmax5/pmax4). La expunere directă Cobstr=1	Cantitate echivalentă TNT (kg)	Suprapresiunea undei aeriene de varf generată de detonarea încărcăturii explozive echivalent TNT (kPa)	Suprapresiunea undei aeriene de varf generată de detonarea încărcăturii explozive echivalente TNT (dB)	Suprapresiunea undei aeriene de varf generată de detonarea încărcăturii explozive echivalent TNT (bar)	Valori măsurate cu traductorii de presiune în timpul testelor (bar)	Distanța între încărcătura explozivă TNT și obiectul de interes- traductorii de presiune (m)	Coefficient de obstrucționare a undei directe Cobstr=8 (atunci când există un obiectul rigid între încărcătura explozivă și traductorii de presiune, determinat experimental în cazul de față este pmax5/pmax4. La	Cantitate echivalentă TNT (kg)	Suprapresiunea undei aeriene de varf generată de detonarea încărcăturii explozive echivalent TNT (kPa)	Suprapresiunea undei aeriene de varf generată de detonarea încărcăturii explozive echivalente TNT (dB)	Suprapresiunea undei aeriene de varf generată de detonarea încărcăturii explozive echivalent TNT (bar)
0.27	1	0.12500	1412.95	216.98	13.94469	14	0.27	1	0.12500	1412.95	216.98	13.94469
4	1	1.00000	1399.45	216.90	13.81148	14	0.27	1	0.25000	2713.97	222.65	26.78482
4.03	8	0.12500	24.55	181.78	0.24229	0.2	0.27	1	0.50000	5212.97	228.32	51.44801
4.03	8	0.25000	47.16	187.45	0.46539	0.4	0.27	1	1.00000	10013.02	233.99	98.82085
4.04	8	1.00000	173.67	198.77	1.71394	1.75	0.01	1	1.00000	111035.21	254.89	1095.83235

Fig. 21 Foaie de calcul pentru evaluarea presiunilor și pentru determinarea parametrilor specifici buncarului

Pentru o încărcătură explozivă de masă $m=1\text{kg}$ echivalent TNT, suprapresiunea undei aeriene de șoc (bar) în funcție de distanță (m), conform funcției cu coeficienții determinați experimental pentru bunker, este reprezentată în Fig. 22.

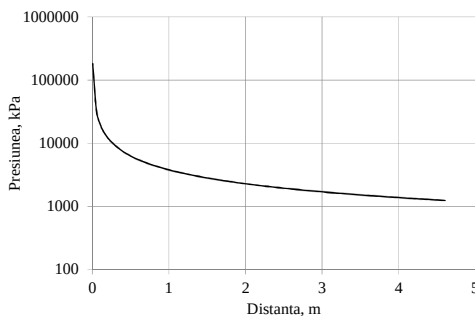


Fig. 22 Suprapresiunea undei aeriene de șoc în funcție de distanță

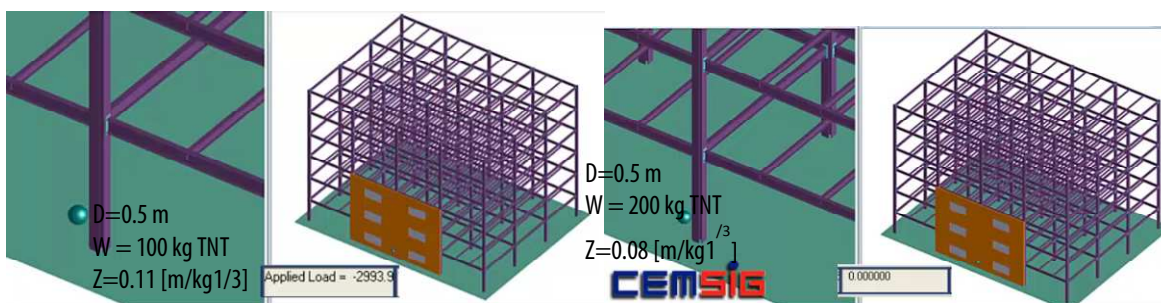


Fig. 23 Analiza structurilor în cadre la acțiunea unei explozii externe

Este însă important de precizat că în condițiile prezentei unor forțe axiale în stâlpi, ar fi fost puțin probabil ca stâlpul să reziste, având în vedere faptul că inima a fost complet îndepărtată în urma exploziei. Efectul forței axiale în stâlpi v-a fi studiat printr-un program de simulări numerice pe structurile de referință din care s-au extras speciamentele experimentale.

Fig. 23 prezintă două dintre cazurile propuse, în care variaza distanța de la încărcătura la structura și masa încărcăturii. Validarea modelelor s-a făcut pe baza încercărilor experimentale din buncar.

4. Studiu de caz: aplicarea metodologiei de calcul la robustețe pentru proiectarea și verificarea structurilor în cadre (activitatea IV.5, IV.6)

Studiul a fost făcut pe o structură în cadre folosită pentru depozitare. Sistemul este parte integrantă a sistemului principal de rezistență. Proiectarea lui s-a făcut pe baza prevederilor în vigoare, fără însă a se lua în considerare la proiectare nici o situație accidentală de proiectare.

Au fost considerate două tipuri posibile de acțiuni accidentale și anume:

- Foc izolat

- Impact, urmat de afectarea sau scoaterea din lucru a unor stalpi
- Pentru analiza s-a folosit programul Extreme Loading for Structures (ELS).

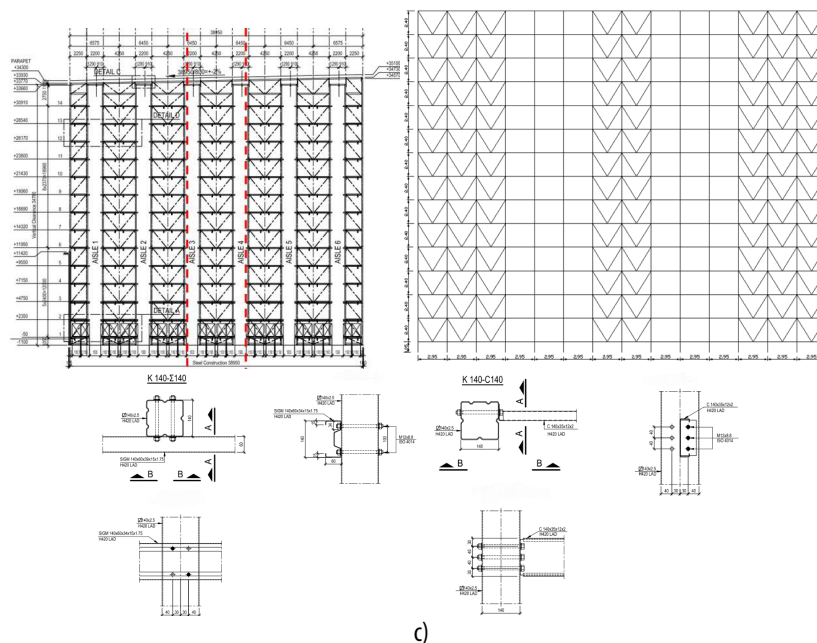


Fig. 24 Structura analizata: a) Cadru transversal; b) cadru longitudinal; c) detalii elemente si imbinari

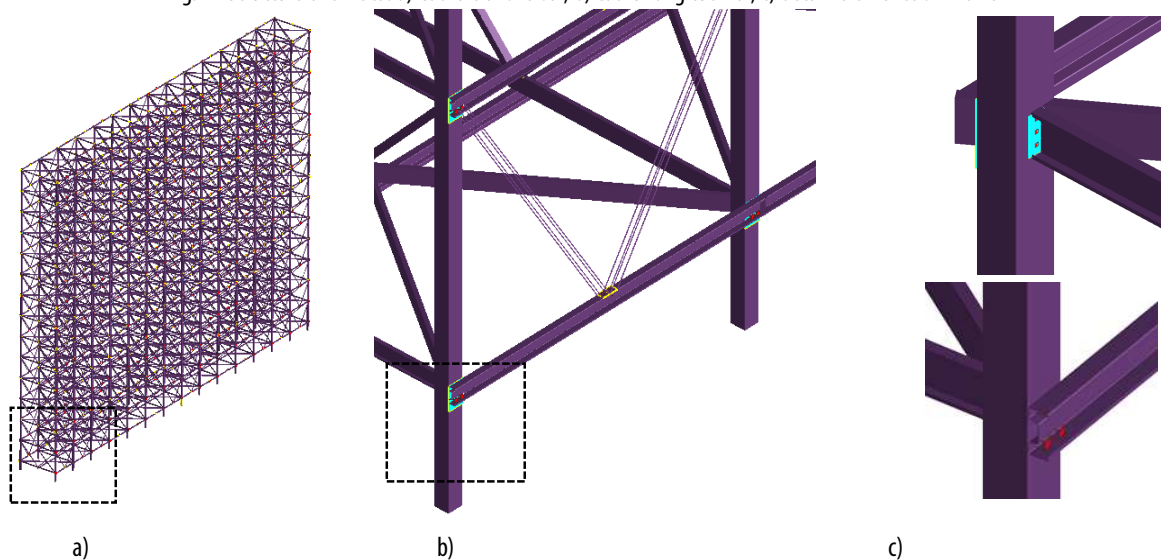


Fig. 25 Modelul numeric ELS: a) vedere 3D; b) detaliu cadru; c) detalii imbinari

Scenariile de incarcare

Prima actiune accidentala a fost impactul asupra unui stalp de la parter, care conduce la indepartarea stalpului. Au fost considerate doua scenarii distincte:

- Cedarea unui stalp din zona necontravantuata, notat C-U-I;
- Cedarea unui stalp din zona contravantuata, notat C-B-I;

A doua actiune accidentala este focul localizat. Au fost considerate doua niveluri de temperatura, primul de 500 °C si al doilea de 700 °C. Elementele afectate de temperaturile ridicate nu sunt indepartate ci sunt modelate printr-un material cu caracteristici de rigiditate (E) si rezistenta (f_y) reduce, vezi Fig. 26.

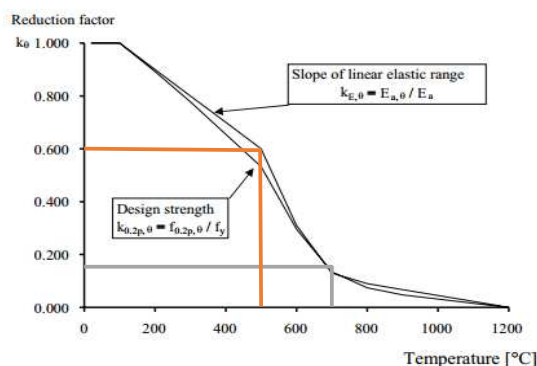


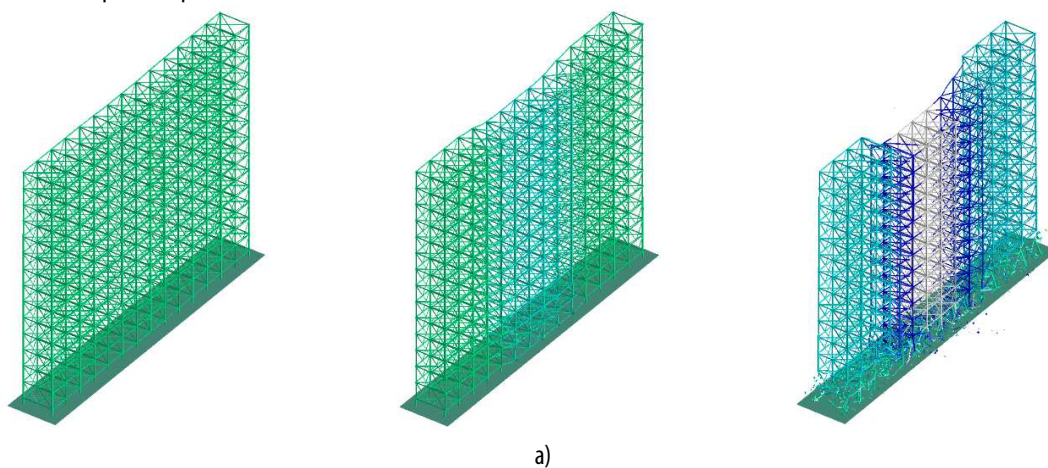
Fig. 26 Modelarea acțiunii focului asupra elementelor din oțel

Au fost considerate opt scenarii distincte și anume:

- Patru stalpi din zona necontravantuia (cate doi din fiecare cadru longitudinal) sunt afectați de foc, temperatura atinge 500 °C. Scenariul se numește 4C-U-F;
- Un stalp din zona contravantuia este afectat de foc, temperatura atinge 500 °C. Scenariul se numește C-B-F;
- Focul afectează un nod de la primul etaj, zona contravantuia. Temperatura atinge 500 °C și afectează stalpul de la parte și de la primul nivel, grinda transversala și cele două grinzi longitudinale concurente în nod. Scenariul se numește CBB-U-F;
- Focul afectează doi stalpi din același cadru, zona necontravantuia. Temperatura atinge 500 °C și afectează stalpii și grinda transversala de legatura. Scenariul se numește 2CB-U-F;
- Focul afectează ultimii patru stalpi, cate doi din fiecare cadru longitudinal, zona contravantuia. Temperatura atinge 500 °C și scenariul se numește 4C-B-F; Temperatura crește în continuare până la 700 °C, scenariul se numește 4C-B-F-700;
- Focul afectează doi stalpi din același cadru, grinda transversala și îmbinările grinzilor longitudinale concurente în cele două noduri. Temperatura atinge 500 °C și scenariul se numește 2CBB-U-F; Temperatura crește în continuare până la 700 °C, scenariul se numește 2CBB-U-F-700;

Atunci când un stalp este avariat în urma impactului și își pierde complet capacitatea portanta, structura suferă o cedare totală din cauza lipsei de redundanță, vezi Fig. 27.

Din cele opt cazuri de foc izolat, în trei dintre ele se înregistrează colapsul global. Pentru celelalte cazuri structura suferă deformații și avarii dar colapsul este prevenit.



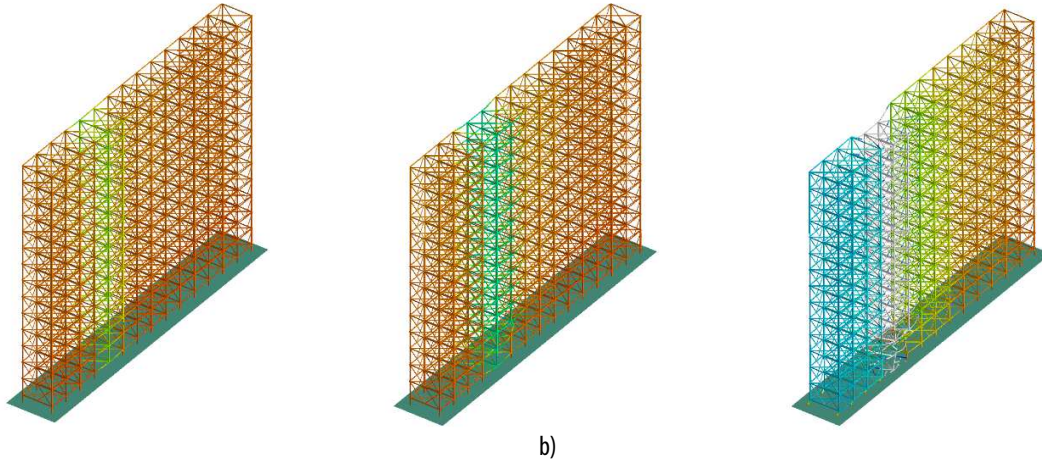


Fig. 27 Propagarea colapsului din cauza impactului: a) caz C-B-I; b) caz C-U-I

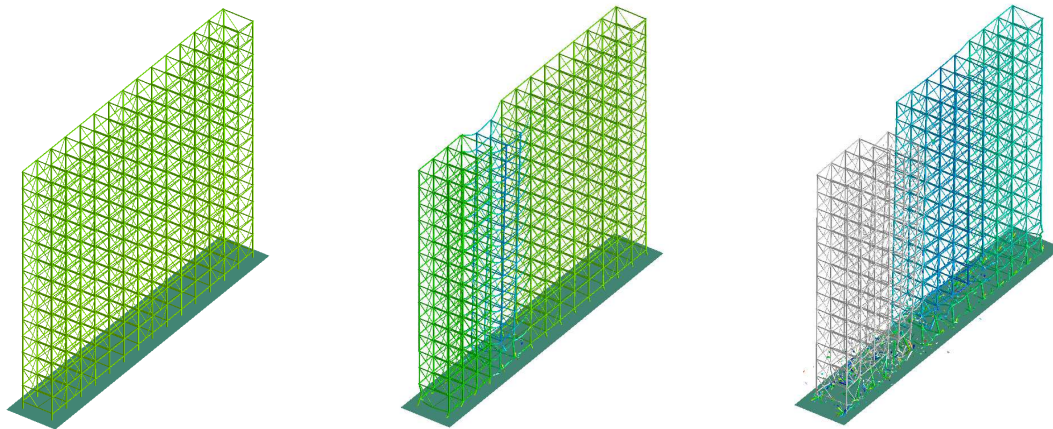
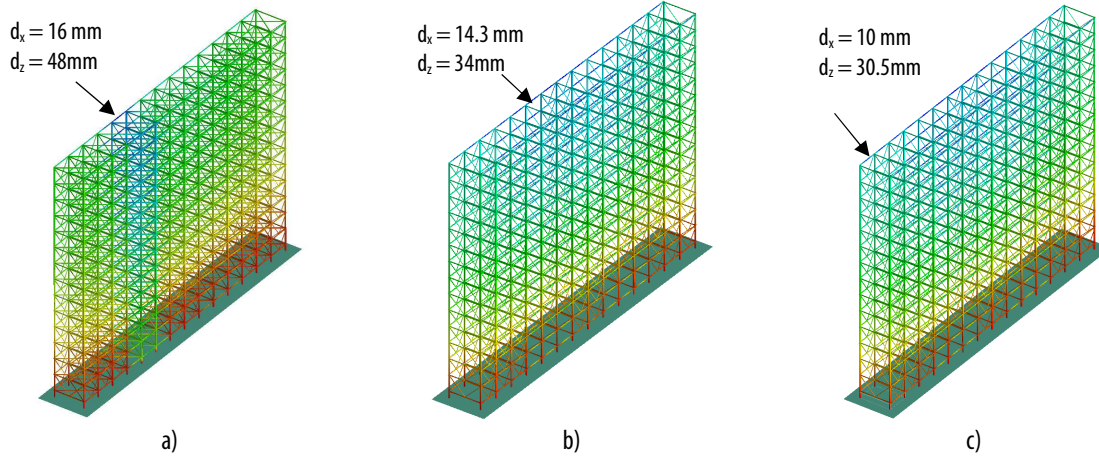


Fig. 28 Propagarea colapsului din cauza incendiului, caz CBB-U-F



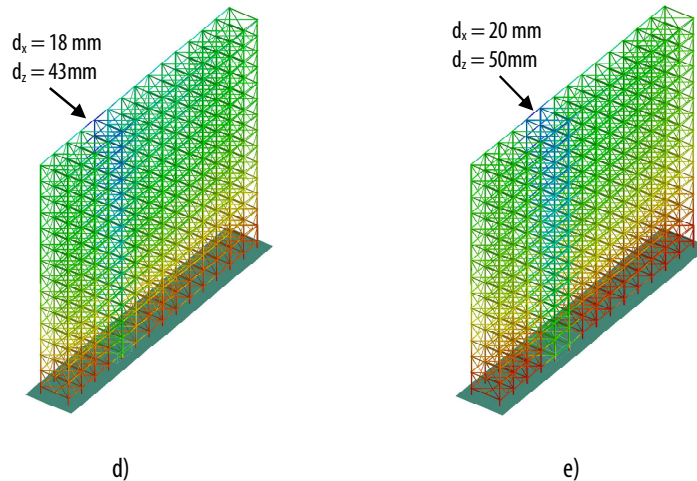


Fig. 29 Deformatii la nivel global in urma incendiului: a) caz 4C-U-F; b) caz C-B-F; c) caz 4C-B-F; d) 2CB-U-F; e) 2CBB-U-F (x - transversal, z - vertical)

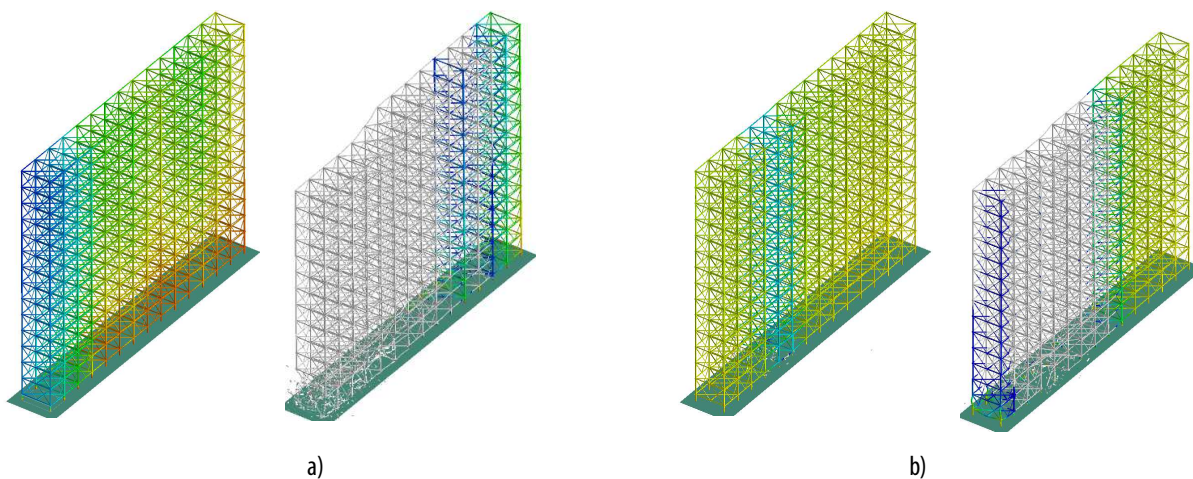


Fig. 30 Propagarea colapsului la 700°C: a) caz 4C-B-F-700; b) caz 2CBB-U-F-700

5. Rezultate obținute si modul de diseminare a rezultatelor

Rezultatele obținute in etapa 4/2015 au constat in principal in execuția incercarilor experimentale, validarea modelelor numerice, studii numerice la robustețe pe diferite tipuri de cadre, studiu de caz pentru verificarea capacității de rezistență la colaps progresiv și un studiu de fezabilitate tehnică. A fost o activitate extraordinară de complexă, care a necesitat un suport tehnic și uman deosebit. Echipele implicate au fost compuse din cercetători și tehnicieni de la toți partenerii implicați în proiect. În plus, am beneficiat și de ajutorul unui număr mare de specialiști din cadrul UT-CN, care ne-au furnizat echipamente și logistică pentru instrumentarea cadrelor și achiziția de date. De asemenea, se menționează aici suportul adus de Proinvest Group (<http://www.proinvestgroup.ro/>), care a asigurat tabla cutată amprentată pentru testul pe structură 3D. Incercările experimentale au reprezentat o premieră pentru țara noastră și o raritate pe plan mondial, fiind extrem de necesare în vederea elaborării unor recomandări de calcul și execuție pentru reducerea riscului de cedare a clădirilor solicitate la acțiuni extreme. De o importanță semnificativă sunt și modelele numerice dezvoltate și validate pe baza datelor obținute în cadrul testelor experimentale. Acestea se adaugă modelelor de macrocomponente și pe noduri deja finalizate în etapa 3/2014. Programele folosite, respectiv Abaqus și ELS sunt de referință pe plan mondial și permit extinderea cercetărilor prin intermediul unor programe de simulare numerică extinse.

Valorificarea acestor rezultate și diseminarea lor s-a făcut prin publicarea unor lucrări de cercetare în cadrul unor manifestări științifice naționale și internaționale, în jurnale de specialitate, comitete tehnice internaționale (TC13) și de asemenea prin pregătirea unor propuneri de proiecte de cercetare internaționale.

Mai jos este prezentata lista lucrărilor, a prezentărilor și a propunerilor de proiect rezultate din activitatea desfășurată în 2015. Este de menționat în special suportul oferit de rezultatele obținute în acest proiect la pregătirea a doua propuneri de proiect FP7/RFCs, împreună cu parteneri din cercetare și industrie din Europa care se bucură de o mare recunoaștere pe plan mondial în domeniul robusteții structurilor. Pentru anul viitor sunt în pregătire mai multe lucrări de cercetare. Pentru lucrările de conferință, au fost trimise rezumatele lucrărilor.

Lucrări publicate și prezentate în cadrul unor conferințe naționale

1. Florea Dinu, Mircea Pastrav, Adrian Ciutina, Dan Dubina, Ioan Petran, Ioan Marginean, Andreea Șigăuan, Mihai Senila, Contribuția planșeului la dezvoltarea căilor alternative de transfer la structuri în cadre metalice multietajate supuse la cedări locale, A 14-A CONFERINȚA NAȚIONALĂ DE CONSTRUCȚII METALICE 19-20 Noiembrie 2015, Cluj-Napoca, România, Ed. Mediamira, ISBN 978-973-713-334-2.
2. Ioan Marginean, Florea Dinu, Dan Dubina, Calin Neagu, Ioan Petran, Îmbinări grinda-stâlp pentru structuri în cadre metalice cu rezistență ridicată la colaps progresiv, A 14-A CONFERINȚA NAȚIONALĂ DE CONSTRUCȚII METALICE 19-20 Noiembrie 2015, Cluj-Napoca, România, Ed. Mediamira, ISBN 978-973-713-334-2.
3. Florea Dinu, Ioan Marginean, Dan Dubina, Attila Kovacs, Emilian Ghicioi, Dragos Vasilescu, Ioan Petran, Efectele directe ale exploziilor asupra elementelor structurale ale clădirilor în cadre metalice multietajate, A 14-A CONFERINȚA NAȚIONALĂ DE CONSTRUCȚII METALICE 19-20 Noiembrie 2015, Cluj-Napoca, România, Ed. Mediamira, ISBN 978-973-713-334-2.
4. Florea Dinu, Ioan Marginean, Dan Dubina, Ioan Petran, Mircea Pastrav, Andreea Handabut, Mihai Senila. Proiectarea îmbinărilor grinda-stâlp ale structurilor în cadre metalice pentru prevenirea colapsului progresiv în cazul producerii unor acțiuni accidentale, A XXV-a Conferință Națională A.I.C.P.S., 21 – 22 mai 2015, București.
5. Florea Dinu, Dan Dubina, Attila Kovacs, Emilian Ghicioi, Ioan Marginean, Dragos Vasilescu, Ioan Petran. Evaluarea comportării structurilor pentru clădiri sub efectul exploziilor, A XXV-a Conferință Națională A.I.C.P.S., 21 – 22 mai 2015, București.

Lucrări publicate și prezentate în cadrul unor conferințe internaționale

1. Florea Dinu, Ioan Marginean, Dan Dubina, Ioan Petran, Experimental Study of Seismic Resistant Steel Frames in Case of Column Loss, Eight International Conference on Advances in Steel Structures (ICASS'2015), July 2015, Lisabona, Portugalia, Proceedings of the Eighth International Conference on ADVANCES IN STEEL STRUCTURES, Lisbon, Portugal, July 22-24, 2015 (on CD, Paper ID 142).
2. Florea Dinu, Dan Dubina, Ioan Marginean, Calin Neagu, Ioan Petran, Axial strength and deformation demands for t-stub connection components at catenary stage in the beams, 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas 1 July 2015 Shanghai, China.
3. Andrei Crisan, Dan Dubina, Ioan Marginean, Numerical simulation of pallet rack systems failure under seismic actions, 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas 1 July 2015 Shanghai, China.
4. Numerical simulation of pallet rack systems failure under seismic actions, 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas 1 July 2015 Shanghai, China
5. Ioan Both, Ioan Marginean, Calin Neagu, Florea Dinu, Dan Dubina, Raul Zaharia, Experimental research on T-stubs under elevated temperatures Proceedings of the International Conference 15 - 16 October 2015 Dubrovnik, Croatia.
6. Ioan Mărginean, Dan Dubină, Florea Dinu, Numerical modelling of beam-to-column connections under column loss scenarios, Computational Civil Engineering 2015, International Symposium, Iasi, Romania, May 22, 2015.

Lucrări publicate în reviste de specialitate ISI

1. Florea Dinu, Dan Dubina & Ioan Marginean (2015): Improving the structural robustness of multistorey steel-frame buildings, Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, factor de impact 2.805. Link către articol: <http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2014.927509>, Volume 11, Issue 8, August 2015, pages 1028-1041.
2. Florea Dinu, Dan Dubina, Ioan Marginean, Calin Neagu, Ioan Petran, Structural Connections of Steel Building Frames under Extreme Loading, Advanced Materials Research, Volume 1111, DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.1111.223 ISSN: 1022-6680, 2015.

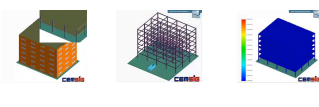
Lucrări de dizertație (Master) elaborate în cadrul proiectului

1. Response of T-stub macro components under high speed loading caused by column loss, M.Sc. Student: Mohamed Imad Al Hallak, Coordonator Prof.dr.ing. Florea Dinu, Drd.ing. Ioan-Mircea Marginean.

6. Bibliografie

- ASCE/SEI 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, 2005.
- Baldrige S., Humay F., Preventing Progressive Concrete Buildings, Concrete International, Vol.25, pp. 73-79, 2005.
- Dinu F., Santiago A., Dubina d., Simoes Da Silva L., Robustness demand for structural connections of multistory steel building frames under elevated temperature; in Performance , Protection&sthregthening od structures under Extreme Loading - Protect 2013, Mysore, India, Aug. 26-27, 2013, Published by Indian concrete Journal (ICJ) p. 9.(CD paper).
- Dinu.F., Dubina., Marginean., Effect of connection between reinforced concrete slab and steel beams in multistory frames subjected to different column loss scenarios. Proc. 4th int. Conf on Integrity, Reliabiliy and Failure –IRF,2013, 23-27 June, Funchal, Portugal, p 215-16, (CD paper ref 3882), ED. INEGI, Porto, Portugal, ISBN 978-9772-8826-27-7.
- Dubina D., Dinu.F., Margineani I., Collapse prevention design criteria for moment connections in multi-story steel frames under extreme actions. Proc. 4th int. Conf on Integrity, Reliabiliy and Failure –IRF,2013, 23-27 June, Funchal, Portugal, p 41-42 (CD paper ref. 388) Porto, Portugal, ISBN 978-9772-8826-27-7
- Department of Defense DOD UFC 4-023-03 (2010): Unified Facilities Criteria (UFC), Design of Buildings to Resist Progressive Collapse.
- Granstrom, S., (1970): Stability of Buildings after Accidental Damage. Forces in Element Joint - Model Tests, Swedish Building Research Report R20: 1971, V. 4, No.3, March.
- GSA (2003): General Services Administration (GSA) Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines For New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects.
- Huynh, C.T., Park, J., Kim, J., Progressive collapse resisting capacity of reinforced concrete beam-column sub-structures, 2009.
- Ioani, A.M., Cucu, H.L., Mircea, C., Seismic design vs. progressive collapse: a reinforced concrete framed structure case study, Proceedings of ISEC-4, Melbourne, Australia, 2007.
- Joshi D., Patel P.V., Tank S.J., Linear and Nonlinear Analysis for Assessment of Progressive Collapse Potential of Multistoried Building, ASCE Structures Congress, 2010.
- Kaewkulchai, G., Williamson, E.B., Beam element formulation and solution procedure for dynamic progressive collapse analysis, J. of Computers & Structures, No.82, 2004, pg.639-651.
- Kim, H., Progressive collapse behavior of reinforced concrete structures with deficient details, The University of Texas at Austin, 2006.
- Li, Z., Shi, Y., Methods for progressive collapse analysis of building structures under blast and impact loads, Transactions of Tianjin University, Vol. 12, No.5, 2008, pg. 329-339.
- NIST 2007. Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings. NISTIR 7396 Gaithersburg, MD.
- NISTR 7396, Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings, National Institute of Standards and Thenology, Oakland,CA, 2007.
- Sadek F., and all, Testing and Analysis of Steel and Concrete Beam-Column Assemblies under a Column Removal Scenario, Journal of Structural Engineering, ASCE, 2011, pg. 881-892.
- Sasani M., Bazan M., Sagiroglu S., Experimental and Analytical Progressive Collapse Evaluation of Actual Reinforced Concrete Structure, ACI Structural Journal, Vol. 104, No.6, 2007, pg.731-740.
- Tsai M.H., Investigation of progressive collapse resistance and inelastic response for an earthquake-resistant RC building subjected to column failure, Journal of Engineering Structures, No. 30, pg. 3619-3628, 2008.
- U.S. Department of Defense (DoD 2009), Design of building to resist progressive collapse, Unified Facility Criteria, UFC 4-023-03, Washington, DC, 2009.
- U.S. GSA (2004): U.S. General Services Administration Progressive Collapse Design Guidelines Applied to Concrete Moment Resisting Frame Buildings, Washington, DC.
- Yi, W.J., He, Q.F., Xiao, Y., Kunnath, S.K., Experimental study on Progressive Collapse-resistant behavior of reinforced concrete frame structures, ACI Struct. J., Vol.105, No.4, 2008, pg.433-438.
- Leyendecker, E.V. and Ellingwood, B.R. Design Methods for Reducing the Risk of Progressive Collapse in Buildings. Building Science Series, No. 98, National Bureau of Standards, Washington, DC, 1976.
- Mainstone, R.J. The hazards of Explosion. Impact and Other Random Loadings on Tall Buildings, Current Paper 64/74, Building Research Establishment, Garston, United Kingdom, 1974.
- Hopkinson, B. British Ordnance Board Minutes 13565, 1915.
- Cranz, C. Lehrbuch der Ballistik, Springer-Verlag, Berlin, 1926.
- Unified Facilities Criteria UFC 3-340-02. Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, U.S. Army Corps of Engineers, Naval Facilities Engineering Command, Air Force Civil Engineer Support Agency, 2008.
- Richards, A. B., Moore, A.J. Blast vibration course measurement - assessment – control. Terrock Pty Ltd, 2005.

A XXV-a Conferință Națională A.I.C.P.S.
21 – 22 mai 2015, București

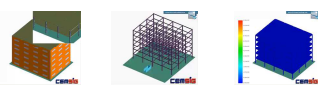


Evaluarea comportării structurilor pentru clădiri sub efectul exploziilor

Autori:
Florea Dinu^{1,2}, Dan Dubina^{1,2}, Attila Kovacs³, Emilian Ghicici³, Ioan Marginean¹, Dragoș Vasilescu³, Ioan Petran⁴

¹ UP Timișoara
² Academia Romană, Timișoara
³ INSEMEX Petrosani
⁴ UT Cluj Napoca

A XXV-a Conferință Națională A.I.C.P.S.
21 – 22 mai 2015, București



Proiectarea îmbinărilor grinda-stâlpi ale structurilor în cadre metalice pentru prevenirea colapsului progresiv în cazul producerii unor acțiuni accidentale

Autori:
Florea Dinu^{1,2}, Ioan Marginean^{1,2}, Dan Dubina^{1,2}, Ioan Petran³, Mircea Pastrav⁴, Andreea Handabut³, Mihai Senila³

¹ UP Timișoara
² Academia Romană, Timișoara
³ UT Cluj Napoca

CONSTRUIESTE CU STEEL
A 14-a Conferință Națională de Construcții Metalice
Cluj Napoca, 19-20 noiembrie 2015



Contribuția planșeului la dezvoltarea căilor alternative de transfer la structuri în cadre metalice multietajate supuse la cedări locale

Florea Dinu^{1,2}, Mircea Pastrav³, Adrian Ciutina¹, Dan Dubina^{1,2}, Ioan Petran⁴, Ioan Marginean¹, Andreea Șigăuan¹, Mihai Senila⁴

¹ Universitatea Politehnică Timișoara, Facultatea de Construcții
² Academia Romană, Filiala Timișoara
³ INCU URBAN-INCERC, Sucursala Cluj-Napoca
⁴ Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții

CONSTRUIESTE CU STEEL
A 14-a Conferință Națională de Construcții Metalice
Cluj Napoca, 19-20 noiembrie 2015



Efectele directe ale exploziilor asupra elementelor structurale ale clădirilor în cadre metalice multietajate

Autori:
Florea Dinu¹, Ioan Marginean¹, Dan Dubina^{1,2}, Attila Kovacs³, Emilian Ghicici³, Dragoș Vasilescu³, Ioan Petran⁴

¹ Universitatea Politehnică Timișoara, Facultatea de Construcții
² Academia Romană, Filiala Timișoara
³ INCU INSEMEX Petrosani
⁴ Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții

CONSTRUIESTE CU STEEL
A 14-a Conferință Națională de Construcții Metalice
Cluj Napoca, 19-20 noiembrie 2015



Îmbinări grinda-stâlpi pentru structuri în cadre metalice cu rezistență ridicată la colaps progresiv

Autori:
Ioan Marginean¹, Florea Dinu^{1,2}, Dan Dubina^{1,2}, Calin Neagu¹, Ioan Petran³

¹ Universitatea Politehnică Timișoara, Facultatea de Construcții
² Academia Romană, Filiala Timișoara
³ Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții

Computational Civil Engineering

Numerical modelling of beam-to-column connections under column loss scenarios

I. Marginean, F. Dinu, D. Dubina, Politehnica University of Timișoara

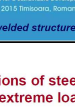
ECSS TC 10 Meeting, Papendrecht
April 16-17, 2015



Behaviour of beam- to-column connections under strong axial forces in the catenary phase of robustness scenarios

Authors:
Ioan Marginean, Florea Dinu, Dan Dubina
Politehnica University Timișoara

The 3rd IWE South-East European Welding Congress
Meeting & Joining Technologies for a Sustainable Development & Environment
June 03-05, 2015 Timișoara, Romania



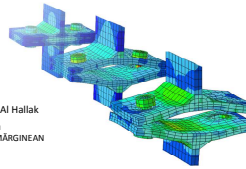
Structural connections of steel building frames under extreme loading

F. Dinu^{1,2}, D. Dubina^{1,2}, I. Marginean¹, C. Neagu¹ and I. Petran³

¹ Politehnica University of Timișoara
² Romanian Academy, Timișoara Branch
³ Technical University of Cluj Napoca

POLITEHNICA UNIVERSITY TIMIȘOARA
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
Steel Structures Department
Master Programme: ADS

Response of T-stub macro components under high speed loading caused by column loss



M.Sc. Student: Mohamed Imad Al Hallak
Coordinators: Prof. dr.ing. Florea Dinu
Dr.ing. Ioan-Mircea MĂRGINEAN

STESSA'15
The 8th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas



Axial strength and deformation demands for t-stub connection components at catenary stage in the beams

F. Dinu^{1,2}, D. Dubina^{1,2}, I. Marginean¹, C. Neagu¹ and I. Petran³

¹ Politehnica University of Timișoara
² Romanian Academy, Timișoara Branch
³ Technical University of Cluj Napoca

ICASS 2015
The Eighth International Conference on Advances in Steel Structures

held in conjunction with the
IJSSD SYMPOSIUM ON PROGRESS IN STRUCTURAL STABILITY AND DYNAMICS
21-24 July 2015, Lisbon, Portugal

Experimental study of seismic resistant steel frames in case of column loss

F. Dinu^{1,2}, I. Marginean¹, D. Dubina^{1,2} and I. Petran³

¹ Politehnica University of Timișoara
² Romanian Academy, Timișoara Branch
³ Technical University of Cluj Napoca