



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 I/finala 2012

Denumire etapa: Etapa I: Studii preliminare
Activitate I.1: Stadiul actual în domeniul robusteții clădirilor la acțiuni extreme
Activitate I.2: Analize preliminare, selectarea structurilor pentru studiile numerice

Cuprins:

1. Rezumatul etapei.....	2
2. Introducere	2
3. Comportarea structurilor pentru clădiri în cazul producerii unor acțiuni extreme	3
2.1. Cercetări pe plan mondial privind robustețea clădirilor	3
2.2. Tipuri de acțiuni extreme, cauzele lor	5
2.2.1. Impactul cauzat de avioane	6
2.2.2. Greșeli de proiectare sau execuție.....	6
2.2.3. Acțiunea focului	6
2.2.4. Exploziile de gaz	7
2.2.5. Exploziile cauzate de materiale explozive	7
3. Vulnerabilitatea structurilor pentru clădiri solicitate la acțiuni extreme.....	7
3.1. Structuri în cadre din beton armat	7
3.1.1. Studii experimentale	8
3.1.2. Studii teoretice	9
3.1.3. Studiu de caz – explozie de gaz în locuința	11
3.1.4. Comentarii asupra rezultatelor existente.....	11
3.2. Structuri în cadre metalice (CO)	12
3.2.1. Studii de caz	13
4. Reducerea riscului în cazul producerii unor acțiuni extreme.....	14
3.3. Metode de reducere a riscului	14
3.4. Principii de calcul, prevederi din normele actuale	14
3.5. Reducerea riscului prin controlul mecanismului de cedare.....	15
5. Analize preliminare și selectarea structurilor pentru analiza	16
4.1. Analize preliminare	16
4.2. Selectarea structurilor pentru analiză	17
6. Rezultate obținute și modul de diseminare a rezultatelor	19
7. Bibliografie	20

1. Rezumatul etapei

Etapa 1/2012 a cuprins doua activitati si anume „Stadiul actual în domeniul robusteții clădirilor la acțiuni extreme” si „Analize preliminare, selectarea structurilor pentru studiile numerice”. Cercetările desfășurate au arătat cauzele principale care stau la baza evenimentelor extreme cu potențial distructiv asupra clădirilor si necesitatea dezvoltării unor prevederi referitoare la evaluarea robusteții clădirilor. Au fost identificate riscurile la care sunt supuse clădirile, tipurile de hazard si modul in care afectează clădirile si principalele vulnerabilitati, cum ar fi proiectarea insuficienta, folosirea unor sisteme si materiale necorespunzătoare, degradarea in timp, etc. Pe baza concluziilor, au fost selectate mai multe tipuri de structuri, caracteristice pentru clădirile multietajate, care sa fie studiate in fazele următoare. Aceste structuri urmează sa fie proiectate la diverse tipuri de acțiuni, fara insa a considera evenimente extreme cu caracter accidental. In acest fel, se poate verifica daca aceste structuri, proiectate in conformitate cu normele actuale, pot sau nu sa reziste unor acțiuni accidentale suplimentare, in multe cazuri mult mai puternice decât cele la care au fost proiectate. Evenimentele recente au arătat ca pentru evitarea producerii unor dezastre, trebuie sa se reducă probabilitatea de producere a evenimentelor, de exemplu prin masuri de prevenire si control, dar mai important, trebuie sa se folosească acele materiale si sisteme structurale care permit degajarea energiei induse prin deformații plastice si apoi, in cazul in care unele elemente critice cedează, permit redistributia eforturilor suplimentare apărute. Având in vedere incidenta tot mai ridicata a exploziilor de gaze in interiorul clădirilor, s-a început dezvoltarea unei baze de date cu evenimente extreme, care sa aducă informații cu privire la cauzele producerii, efecte si modul de desfășurare si lecții care sa permită reducerea incidentei lor.

2. Introducere

Structurile în cadre multietajate pentru clădiri pot fi supuse de-a lungul duratei lor de viața la o varietate mare de solicitări, cum ar fi sarcinile provenite din greutate proprie, din modul de utilizare. Structurile în cadre multietajate pentru clădiri pot fi supuse de-a lungul duratei lor de viața la o varietate mare de solicitări, cum ar fi sarcinile provenite din greutate proprie, din modul de utilizare sau sarcini climatice. Proiectarea și execuția clădirilor trebuie să țină cont de faptul că unele dintre aceste solicitări pot atinge valori extreme, cu mult peste valorile considerate în calcul sau, anumite cazuri, neconsiderate deloc în calcul. În aceste situații, clădirile trebuie să fie capabile să preia aceste solicitări, fără să sufere avarii majore, pentru a proteja viața ocupanților și a echipelor de intervenție care intervin în astfel de situații. Un exemplu în acest sens este dat de exploziile de gaze produse în clădirile de locuințe din cauza unor defecțiuni sau din cauza utilizării necorespunzătoare a instalațiilor. În astfel de situații, structura de rezistență poate fi grav avariata, ceea ce poate conduce la cedări parțiale sau totale, cum a fost cazul cu clădirea Ronan Point, din Londra, în anul 1968 (Fig. 1.a) sau, mai recent, cu un bloc de locuite din Zalău, în anul 2007 (Fig. 1.b).



Fig. 1 Explozii de gaze în clădiri: a) clădirea Ronan Point, Londra, 1968; b) bloc de locuințe, Zalău, 2007

Pe lângă exploziile de gaze, se mai pot enumera aici solicitările de tip impact, explozii externe cauzate de explozibili convenționali sau artizanali, greșeli de proiectare sau execuție, incendii,

cedări de rezeme, schimbarea destinației, deteriorarea în timp a elementelor structurale, etc. Cutremurul poate de asemenea intra în această categorie, deoarece poate fi urmat de incendii prelungite, cum a fost cazul cutremurului de la Kobe, din 1995. Unele dintre aceste evenimente se pot produce simultan sau la un interval mic de timp, cum ar fi de exemplu cazul turnurilor WTC, în 2001, unde impactul inițial a fost urmat de explozie și apoi de incendiu. Luarea în considerare a tuturor scenariilor posibile în proiectarea clădirilor este o sarcină dificilă, deoarece nu se poate estima cu precizie tipul de solicitare extremă, modul și frecvența de producere sau intensitatea maximă. În astfel de cazuri, chiar dacă structura a fost proiectată să reziste la anumite situații extreme, nu poate fi garantată o comportare corespunzătoare la alte cazuri extreme. Se poate observa deci că proiectarea structurii pe baza unor solicitări predefinite nu asigură o robustețe corespunzătoare. Normele naționale sau europene actuale conțin câteva prevederi care iau în considerare faptul că, pe durata de viața a construcției, se pot produce anumite accidente. Astfel, conform prevederilor din EN 1990 (Bazele proiectării structurilor), robustețea structurii poate fi asigurată prin următoarele mijloace:

- Evitarea, eliminarea sau reducerea hazardului care poate acționa asupra structurii;
- Selectarea unei forme structurale cu sensibilitate redusă la hazardul considerat;
- Selectarea unui sistem structural și a unei metodologii de proiectare care să reducă riscul de cedare a unui element sau a unei părți din structură;
- Evitarea folosirii sistemelor structurale fără redundanță, care pot să cedeze fără redistribuiri de eforturi și fără nici un fel de avertisment;
- Asigurarea unei conlucrări la nivelul structurii și a unor legături adecvate între elementele structurale.

Toate aceste măsuri sunt gândite să asigure structurii suficientă capacitate pentru a supraviețui în cazul producerii unor acțiuni extreme la care a fost sau nu proiectată să reziste. Problema principală constă în dificultatea asigurării, cu un grad rezonabil de încredere, unei eficacități reale a acestor măsuri. De exemplu, prima prevedere din lista de mai sus nu este în responsabilitatea directă a inginerului proiectat iar pentru unele hazarduri este inaplicabilă (de exemplu în cazul cutremurelor). Preocupările legate de lipsa unor recomandări clare pentru asigurarea robusteții structurilor în normele Eurocod au ajuns și la nivelul Comitetului European de Normalizare CEN/TC 250, care a decis în 2009 să inițieze unele acțiuni legate de robustețea structurilor.

Pe plan mondial, au fost realizate numeroase lucrări și programe de cercetare care au avut ca obiectiv îmbunătățirea robusteții clădirilor la acțiuni extreme. Rezultatele au arătat că este nevoie de metode noi, care să reducă riscul de cedare în condițiile menționate mai sus. O astfel de metoda se referă la studiul mecanismului de cedare. Proiectarea structurii prin *controlul mecanismului de cedare* ține cont de faptul că anumite evenimente extreme pot cauza avarii locale semnificative, care scot din lucru elementele structurale și de aceea pregătește structura pentru a putea prelua sarcinile suplimentare de la elementele cedate. Aplicarea unui astfel de concept de proiectare poate să asigure o robustețe ridicată la orice solicitare cu caracter extrem. Proiectul își propune să dezvolte o astfel de metoda, care poate fi folosită la proiectarea structurilor în cadre pentru clădiri. Cercetările vor cuprinde studii teoretice și numerice dar și un amplu program experimental pe materiale, detalii de îmbinare și subansamble. În etapa I/2012 sunt prezentate principalele probleme din domeniul temei și se descriu tipurile de structuri care vor fi analizate în etapele următoare.

3. Comportarea structurilor pentru clădiri în cazul producerii unor acțiuni extreme

2.1. Cercetări pe plan mondial privind robustețea clădirilor

Structurile pentru clădiri trebuie să fie proiectate astfel încât să prevină extinderea avariilor cauzate de o acțiune extreme. O astfel de structură trebuie să posede următoarele caracteristici: redundanță, legături între elemente, ductilitate sau capacitate de preluare a încărcărilor alternante. Lipsa unor astfel de caracteristici poate conduce la cedarea structurii ca urmare a unor avarii locale. În cazul clădirilor multietajate, un astfel de fenomen poate numele de colaps progresiv.

Colapsul progresiv definește situația în care o avarie (sau cedare) locală, care a fost declanșată de un eveniment extrem, se propagă din element în element, rezultând în final cedarea întregii structuri sau a unei mari părți din structură (disproporționat de mare în raport cu avariile inițiale). Un exemplu este cazul clădirii Ronan Point, din Marea Britanie, unde o explozie de gaz la unul din etajele superioare ale clădirii a dus imediat la cedarea unui panou marginal, iar în final, la cedarea unei zone extinse din structura, vezi Fig. 1.a.

În Europa, primele studii referitoare la colapsul progresiv au fost inițiate în urma colapsului structurii *Ronan Point*, în 1968, în Marea Britanie. Primele prevederi au apărut în 1970, cu edițiile ulterioare din 1974 și 1976. Aceste recomandări au adus o anumită îmbunătățire a robusteții, fapt confirmat de performanța structurilor supuse acțiunilor accidentale, inclusiv explozii, impact, etc. din momentul introducerii acestor reglementări (Fig. 2). Eforturile de cercetare continue au condus la îmbunătățirea prevederilor de proiectare și la publicarea unei noi versiuni a standardului în 1991 (Approved Documents), urmat de alte ediții în 2004 și 2010. Cerințele prevăzute în aceste standarde conduc la structuri mai robuste, cu o rezistență mai mare la acțiuni extreme, precum impact sau explozii (în interiorul clădirii sau în afara ei). Cea mai recentă versiune, publicată în 2010, are paisprezece capitole și se referă, printre altele, la siguranța structurală (colaps progresiv) și la siguranța în caz de incendiu.



Fig. 2 Exchequer Court, St Mary's Axe, Londra 1992: a) avarii la planșeele compuse; b) avarii majore la stâlpii metalici de la parter

În afară de Marea Britanie, primele studii similare asupra colapsului progresiv au fost efectuate în Suedia (Granstrom, S., 1970) și Danemarca (Hanson & Olesen, 1969) și de asemenea în Germania, Olanda și Franța. Cooperarea la nivel european și prevederile din diferite standarde naționale au condus mai târziu la dezvoltarea prevederilor din normele Eurocod.

Ultimii 10 ani au arătat o creștere a interesului pentru problema robusteții structurilor, fiind desfășurate mai multe proiecte de cercetare la nivel european. Primul dintre acestea, intitulat "Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events" acțiunea C26, s-a desfășurat între 2006 și 2011 în cadrul programului european COST, cu participarea a 22 de țări europene, printre care și România. Un alt proiect a fost "Robustness of Structures" Acțiunea TU0601, desfășurat între 2007 și 2011 în cadrul programului european COST, cu participarea a 16 țări europene printre care și România. Un proiect care se afla în desfășurare (2010-2013) este "Advanced design methods for blast loaded steel structures" ADBLAST și are ca scop principal evaluarea robusteții structurilor metalice pentru clădiri industriale la acțiunea exploziilor. Proiectul este finanțat în cadrul programului european RFCS. Problema robusteții clădirilor la acțiuni extreme de tip impact va fi studiată în cadrul proiectului "Robust impact design of steel and composite building structures" ROBUSTIMPACT, care a demarat în 2012 și se va încheia în 2015. Proiectul este finanțat în cadrul programului european RFCS. Ultimele programe prezentate arată interesul în creștere în Europa față de problema asigurării robusteții clădirilor la acțiuni extreme. Este totodată de remarcat faptul aceste studii sunt de abia la început și ca pe baza rezultatelor prognozate, se vor putea elabora recomandări și ghiduri de calcul și alcătuire pentru creșterea rezistenței structurilor pentru clădiri la acțiuni extreme și reducerea riscului de colaps.

În SUA, primele studii asupra colapsului progresiv au început în anii '70 și s-au concentrat pe evaluarea riscului de cedare la structurile din elemente mari prefabricate din beton în cazul exploziilor

de gaz. Primele cerințe au fost cele referitoare la asigurarea rezistenței la foc și a integrității structurale pentru asigurarea rezistenței la colaps progresiv, în 1972 (ASCE 7). În urma atentatelor din anii '90 (WTC, 1993; Murrah Building, Oklahoma 1995) și mai ales a celui de la WTC, din septembrie 2001, au apărut mai multe recomandări și prevederi de calcul și alcătuire. Cele mai importante sunt cele elaborate de *General Services Administration* (GSA, 2003) și *Department of Defense* (DOD UFC, 2010). Recomandările GSA sunt folosite atât la proiectarea clădirii noi cât și la evaluarea celor existente. Standardul UFC se aplică în principal la proiectarea clădirilor care aparțin Departamentului American de Apărare, dar poate fi utilizat și la alte aplicații, inclusiv civile. UFC se poate aplica atât la clădirile noi cât și la cele existente. Ultima versiune (UFC, 2010) oferă, în afară de reguli generale și proceduri detaliate de proiectare, cerințe specifice pentru evaluarea rezistenței la colaps progresiv a clădirilor din beton armat, a clădirilor metalice, a clădirilor din cărămidă sau a celor din lemn.

În Japonia, istoria îndelungată a evenimentelor seismice a făcut ca prevenirea colapsului progresiv sub acțiuni extreme, altele decât seismul, să fie considerată mai puțin importantă. Prăbușirea turnurilor WTC din 2001 au tras un semnal de alarmă cu privire la consecințele dramatice ale colapsului progresiv în cazul clădirilor înalte. Evenimentele de la WTC au demonstrat că în cazul producerii simultane sau succesive a unor acțiuni extreme, de exemplu explozie după impact sau incendiu după explozie, efectele sunt devastatoare, deoarece scenariile inițiale de proiectare bazate pe un singur hazard sunt complet diferite. De asemenea incendiile care se produc în clădirile avariate ca urmare a cutremurelor, pot fi considerate scenarii multi-hazard. Lista de exemple poate continua cu cel mai mare dezastru natural care a afectat Japonia în ultimul secol și anume cutremurul urmat de tsunami din 11 martie 2011. Astfel, în urma colaborării dintre Japanese Society of Steel Construction (JSSC) și Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) au apărut primele recomandări pentru îmbunătățirii redundanței și a rezistenței la colapsul progresiv. Documentul introduce și noi materiale din oțel cu proprietăți îmbunătățite sub încărcări extreme (JSSC, 2005). Au fost identificate măsuri pentru creșterea rezistenței la colapsul progresiv și s-a arătat că cea mai bună metodă de prevenire a colapsului progresiv sub acțiuni accidentale este cea bazată pe controlul colapsului.

2.2. Tipuri de acțiuni extreme, cauzele lor

Acțiunile extreme care pot produce colapsul progresiv au o probabilitate redusă de apariție și pot fi considerate direct în calcul sau indirect prin măsuri de protecție pasivă. Problemele principale referitoare la aceste acțiuni se referă la (NISTIR 7396, 2007): lipsa unor date suficiente pentru caracterizarea acțiunii: modul de producere, intensitate, mărimi caracteristice; dificultăți în identificarea hazardului; dificultăți în evaluarea răspunsului la alte hazarduri decât cele considerate.

Acțiunile extreme pot fi grupate astfel (Somes 1973, Burnett 1975):

- acțiuni de tip presiune: explozii, detonări, vânt extrem, etc.; acțiuni de tip impact: mașini, avioane, vase, etc.; deformații impuse: cedări de reazem, deformații impuse cauzate de efectele termice, etc.; defecte de execuție sau de utilizare, etc.

Aceste acțiuni acționează în general pe o durată foarte scurtă de timp în comparație cu încărcările curente. De asemenea, prezintă variație în timp, dar acțiunea lor poate fi considerată statică sau dinamică, în funcție de conținutul de frecvențe al încărcării și de caracteristicile răspunsului dinamic al sistemului structural (Ellingwood și Leyendecker, 1978). Având în vedere frecvența redusă de producere, modelul de baza folosit se bazează pe o distribuție de tip Poisson, spre deosebire de situațiile curente, care utilizează o distribuție normală. Astfel, folosind o formulare cât mai simplă, dacă evenimentele sunt variabile aleatoare independente, probabilitatea ca un astfel de eveniment să aibă loc în oricare dintre intervalele de timp Δt , este $\lambda \Delta t$, iar probabilitatea ca două sau mai multe evenimente să aibă loc simultan este aproape zero. Numărul de evenimente care poate avea loc în intervalul $(0,t)$ este o variabilă aleatoare, $N(t)$ iar probabilitatea ca r evenimente să aibă loc în același interval de timp este:

$$P[N(t)=r] = (\lambda t)^r \exp(-\lambda t) / r!; r = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Se poate arăta că numărul (mediu) de evenimente în intervalul $(0,t)$ este λt ; prin urmare obținem λ =probabilitatea medie de producere a evenimentelor. În plus, probabilitatea să aibă loc cel puțin un

eveniment în intervalul (0,t) este:

$$P[N(t) \geq 1] = 1 - P[N(t) = 0] = \lambda t \quad (2)$$

În consecință, dacă evenimentele sunt foarte rare, atunci probabilitatea de a avea un eveniment în intervalul (0,t) este aproximativ egal cu λt , adică, pentru hazardul H, probabilitatea P[H] va fi egala cu:

$$P[H] \approx \lambda_H t \quad (3)$$

Un eveniment extrem are de regula o durată scurată de acțiune comparativ cu celelalte tipuri de acțiuni, de exemplu cele din categoria încărcărilor gravitaționale, de exemplu secunde sau minute pentru primele comparativ cu zile sau ani pentru ultimele. Probabilitatea ca un eveniment extrem să se producă (să fie diferită de zero) la orice moment în intervalul (0,t) este aproximativ $\lambda \tau$, în care τ = durată medie a evenimentului. Aceasta durată foarte redusă are implicații importante în elaborarea scenariilor de calcul și a combinațiilor de încărcări aferente combinațiilor din gruparea accidentală de încărcări. Modelul Poisson prezentat anterior poate fi folosit la modelarea probabilității de producere a evenimentelor aleatoare, care nu sunt influențate sistematic prin intervenția deliberată a omului, cum ar fi incendiu, coliziunea cu vehicule, explozie de gaz, sau alte evenimente asemănătoare. Atacurile teroriste sunt acțiuni deliberate îndreptate spre anumite ținte cu rolul de a maximiza impactul sociopolitic. Prin urmare, acest gen de evenimente nu pot fi analizate pe baza modelului Poisson. Atacurile intenționate prezintă totuși un risc destul de redus pentru clădirile obișnuite.

2.2.1. Impactul cauzat de avioane

Studiile au arătat că marea majoritate a evenimentelor cauzate de traficul aerian au loc la decolare sau aterizare. În plus, peste jumătate dintre accidente se produc în zona aeroportuară și doar 30% la distanțe mai mari de 8 km de aeroport. De aceea, probabilitatea de a se produce un astfel de impact la o anumită distanță de aeroport este foarte mică, mai mică decât limita minimă acceptată.

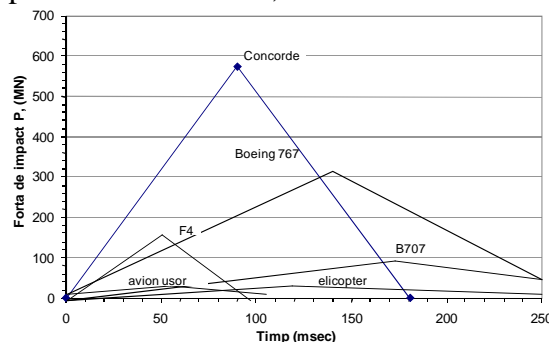


Fig. 3 Variația în timp forței de impact pentru câteva tipuri de avioane

2.2.2. Greșeli de proiectare sau execuție

În cazul clădirilor obișnuite, majoritatea cedărilor structurale și a costurilor aferente (după unele informații peste 80%) sunt cauzate de erori de calcul sau execuție și nu din cauza variabilității rezistenței materialelor sau a încărcărilor. Aceste erori sunt destul de greu de cuantificat iar codurile moderne, de exemplu normele Eurocode, bazate pe calculul la stări limita, nu sunt construite pe baza unor asemenea ipoteze.

2.2.3. Acțiunea focului

Acțiunea focului poate fi poziționată în zona de intersecție din acțiunile normale și cele extreme. În mod tradițional, protecția la foc nu era în sarcina inginerului structurist. În prezent însă, aceasta problemă este din ce în ce mai importantă, astfel că proiectarea la foc a devenit o problemă relativ curentă. Asigurarea rezistenței la foc devine astfel deosebit de importantă în contextul proiectării structurilor pentru prevenirea colapsului progresiv. Inițierea unui incendiu poate fi modelată folosind distribuția Poisson, pe baza unei probabilități medii de apariție proporțională cu suprafața în plan. Aceasta probabilitate este de ordinul $0.2 \times 10^{-6} / m^2 / an$ la $1.0 \times 10^{-6} / m^2 / an$. Propagarea unui

incendiu depinde de prezența mijloacelor active de detecție și stingere. Probabilitatea de a se propaga un incendiu este de ordinul 0.01 la 0.01 dacă este prevăzut un sistem de sprinklere. Prin urmare, probabilitatea de a avea un incendiu, λ_T , este de ordinul $10^{-8}/m^2$ /an.

2.2.4. Exploziile de gaz

Exploziile cauzate de gaz au o importanță foarte mare, având în vedere numărul locuințelor (și al altor tipuri de spații) care folosesc gazul natural. Problemele pot fi cauzate atât de rețelele externe de distribuție cât și de echipamentele interioare care folosesc gazul natural. În Statele Unite, probabilitatea medie de producere a unei explozii de gaz era de circa 1.8×10^{-5} /an. Studii similare desfășurate în Marea Britanie au arătat valori similare, de ordinul 2.3×10^{-5} /an la 1.86×10^{-5} /an. În România nu exista astfel de date, iar acest lucru face dificilă evaluarea riscului de producere raportat la numărul de locuințe. Al doilea lucru la fel de important este presiunea maximă exercitată în interiorul încăperilor afectate de explozie. Studiile desfășurate după accidentul produs în clădirea Ronan Point au arătat că aceste presiuni depășesc foarte rar valoarea de 17 kPa. Chiar dacă aceasta valoare este mult mai mare decât încărcările „obișnuite”, ea este mai mică decât valoarea recomandată în EN 1991-1-7.

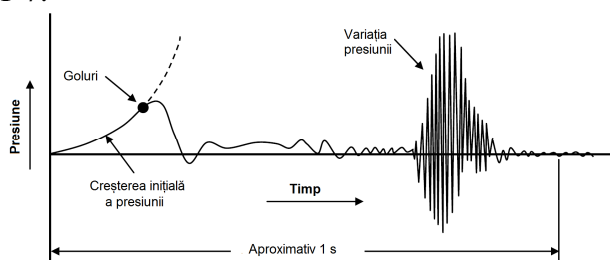


Fig. 4 Curba presiune-timp pentru exploziile de gaz (Leyendecker și Ellingwood, 1976)

2.2.5. Exploziile cauzate de materiale explozive

Aceste evenimente nu pot fi modelate pe baza unei distribuții de tip Poisson, având în majoritatea situațiilor un caracter intenționat. Anumite zone pot fi mai expuse, cum ar fi Statele Unite, sau chiar țări din Europa, de exemplu Turcia sau Marea Britanie. În anul 1997 de exemplu, în SUA s-au produs peste 250 de atacuri cu bomba. Acest lucru conduce la o probabilitate medie de producere de ordinul 2×10^{-6} /clădire

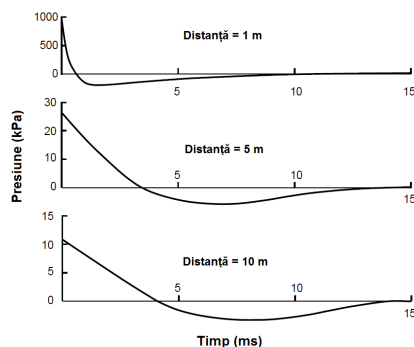


Fig. 5 Curba presiune-timp pentru detonarea unei încărcături explosive (Mainstone, 1974)

3. Vulnerabilitatea structurilor pentru clădiri solicitate la acțiuni extreme

3.1. Structuri în cadre din beton armat

Structurile din beton armat sunt folosite pe scara largă la construcția clădirilor multietajate. Elementele din beton armat au de regulă o masă ridicată, astfel ca sunt indicate pentru realizarea unei protecții adecvate la acțiunea a exploziei. În alte situații, de exemplu seism, această masă ridicată prezintă dezavantaje, deoarece duce la creșterea forțelor inerțiale. După colapsul clădirii Ronan Point din Marea Britanie, în anul 1968, s-au dezvoltat primele prevederi privitoare la reducerea riscului la acțiuni extreme. Erau vizate în principal detaliile de legare între elemente la structuri din panouri mari prefabricate, dar și alte tipuri de probleme.

3.1.1. Studii experimentale

Cercetarile experimentale dezvoltate pe plan mondial au cuprins incercari pe elemente si subansamble, atât la scară reală cat si scara redusa. C.T. Huynh și alții (2009) au studiat rezistenta la colaps progresiv a unor subansamble structurale grinda-stalp din beton armat, proiectate doar la sarcini gravitationale sau si la sarcini seismice. S-au urmarit printre altele influenta rezistenței betonului, a procentului de armare și a detaliilor de realizare asupra rezistentei la colaps progresiv. Rezultatele au aratat ca specimenul proiectat la încărcari seismice și realizat dintr-un beton de clasa ridicata a rezistat creșterii încărcării aplicate chiar și după ruperea armăturii longitudinale inferioare din grindă, prin dezvoltarea acțiunii catenare în armătura de la partea superioară (Fig. 6); în schimb, specimenul proiectat seismic, dar cu o rezistență a betonului redusă, a cedat din cauza cedării legaturii grindă-stalp, înainte de a apărea efectul catenar în grindă (Fig. 6).

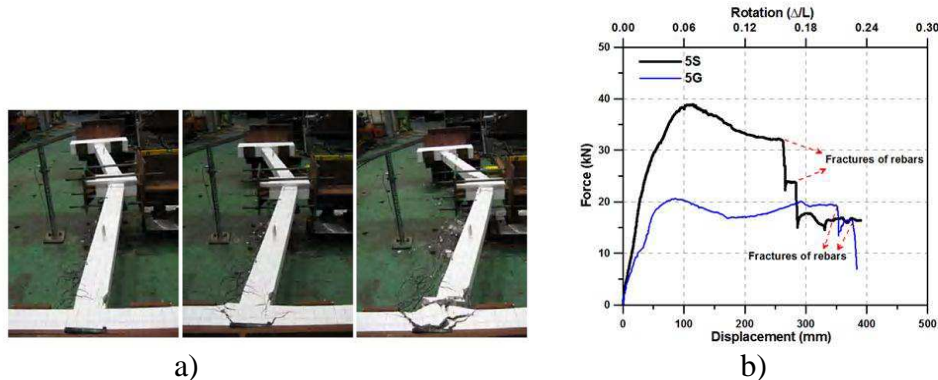


Fig. 6 Încercări experimentale pe grinzi din beton armat: a) deformații la cadrul proiectat la încărcări gravitaționale; b) relația forță-deplasare pentru subansamblul structurii cu 5 niveluri

Rezultatele experimentale pe modele la scara privind comportarea grinzilor continue (M. Sasani și J. Kropelnicki, 2007) au aratat că, deși armătura de la partea inferioară a grinzii s-a rupt, grinda a mai avut suficientă rezistență și capacitate de a se deforma. Aceasta s-a datorat acțiunii catenare dezvoltate în armătura superioară a grinzii. Pentru studiul potențialului la colaps progresiv a întregii structuri s-a utilizat o analiză hibridă pe un model structural 3-D (procedură care combină tehnicile experimentale cu simulări computerizate ale răspunsului structural).

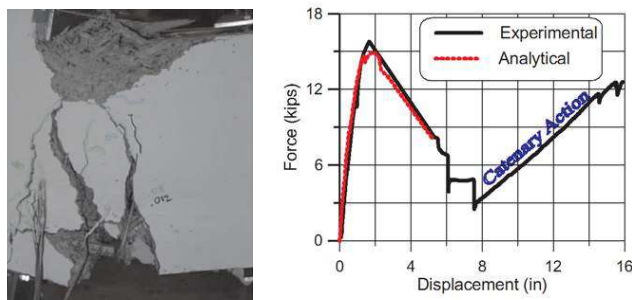


Fig. 7 Comportarea grinzilor din beton armat: a) avarierea grinzii după ruperea armaturii inferioare; b) relația forță - deplasare

W.J. Yi și alții (2008) au studiat comportarea structurilor în cadre din beton armat la colaps progresiv, folosind modele la scara reprezentând un cadru plan cu două deschideri și respectiv trei niveluri. Pe baza rezultatelor experimentale înregistrate și pe baza aproximațiilor analitice, s-a stabilit că încărcarea maximă calculată pe baza mecanismului plastic de cedare este cu 30% mai mică decât capacitatea estimată luând în considerare și efectul catenar (W.J. Yi și alții, 2008). De asemenea, răspunsul structural a aratat că acțiunea catenară depinde de uniformitatea alungirii armăturii; o alungire mai uniformă va spori capacitatea ultimă a structurilor în cadre din beton armat asigurată prin efectul catenar.



Fig. 8 Specimenul experimental la starea limită de colaps

Un alt studiu, (M. Sasaki și alții, 2007) a cuprins încercări experimentale și analitice privind evaluarea potențialului la colaps progresiv al unei structuri existente din beton armat. Pentru studiul experimental, s-a îndepărtat un stâlp exterior de la primul nivel, iar apoi s-a urmărit răspunsul structural. Studiile analitice au cuprins analize dinamice neliniare pe diferite tipuri de structuri. Acțiunea de tip Vierendeel a cadrului transversal a fost mecanismul predominant de redistribuire a încărcărilor. Dezvoltarea acțiunii Vierendeel nu numai că previne colapsul progresiv în urma cedării unui stâlp, dar și limitează deformația maximă pe verticală a elementelor structurale. Redistribuirea încărcării corespunzătoare stâlpului îndepărat se realizează prin grinzile transversale stâlpului adiacent (acțiunea Vierendeel în cadrul transversal interior) și respectiv prin planșeu-dală în sens longitudinal.

În cadrul unui studiu experimental și analitic, F. Sadek și alții (2011) au evaluat performanțele unor subansamble grinda-stâlp din beton armat supuse scenariilor de tip “cedarea unui stâlp”. Aceste subansamble reprezintă o parte dintr-o structură în cadre proiectată și detaliată seismic. Modul de cedare a fost caracterizat prin ruperea armăturii longitudinale de la partea inferioară a grinzii în apropierea stâlpului central cedat



Fig.9 Specimenul in faza anterioara cedării

3.1.2. Studii teoretice

Vulnerabilitatea la colaps progresiv a unei structuri în cadre din beton armat cu 12 niveluri, amplasate în diferite zone de risc seismic a fost investigată de către M. Baldrige și F.K. Humay, (2003). Analiza a cuprins două scenarii de cedare a stâlpilor și anume stâlp exterior de la mijlocul laturii lungi și stâlp de colț. Rezultatele obținute au arătat că structura proiectată antiseismic poate susține pierderea unui stâlp fără să cedeze.

Comportarea la colaps progresiv a unei structuri în cadre din beton armat cu trei niveluri a fost studiată și de HyunJin Kim, (2006). Acesta a utilizat proceduri de analiză statică liniară, statică neliniară, dinamică liniară și dinamică neliniară, folosind criteriile GSA. Prin compararea rezultatelor analitice obținute cu analiza statică neliniară și respectiv dinamică neliniară, au rezultat valori ale factorului de amplificare dinamică între 1.45 și 1.86 mai mici decât valoarea 2.0 recomandată de GSA.

Billow & Kamara, (2004) au studiat aplicabilitatea ghidului GSA 2003 la structuri în cadre de beton armat. Structurile analizate au avut 12 niveluri și au fost amplasate în trei zone de risc seismic, utilizând metoda statică liniară. Rezultatele au arătat că valorile DCR la forță tăietoare pentru toate elementele structurale sunt mai mici decât 2.0, astfel ca nu este necesară armătură suplimentară pentru a satisface criteriile GSA. De asemenea, grinzile proiectate pentru o zonă cu seismicitate mai

redușă au avut nevoie de armătură suplimentară întrucât nu îndeplineau criteriile GSA (valorile $DCR > 2.0$ la moment încovoietor).

A.M. Ioani și alții, (2007, 2009) au examinat vulnerabilitatea la colaps progresiv pentru o structură în cadre din beton armat cu 13 niveluri proiectată și detaliată seismic pentru o zonă cu seismicitate medie ($a_g = 0.24g$). S-a utilizat o procedura de analiză statică liniară și criteriile de acceptare prevăzute în Ghidul GSA 2003. Prin rezultatele obținute (valori $DCR \leq 2.0$ pentru elemente supuse la încovoiere și respectiv valori $DCR \leq 1.0$ pentru elemente supuse la forță taietoare conform criteriilor GSA) s-a arătat că structura proiectată și detaliată seismic nu dezvoltă colaps progresiv când este supusă scenariului de tip "cedarea unui stâlp".

Potențialul la colaps progresiv al unor structuri în cadre din beton armat a fost studiat de D.D. Joshi și alții (2010), M.H. Tsai și B.H. Lin (2008), utilizând diferite proceduri de analiză. Rezultatele au aratat ca rezultatele obtinute cu metodele statice depind de alegerea corecta a factorului de amplificare dinamica, iar metodele elastice se recomanda doar pentru analize preliminare.

Importanța efectelor dinamice în evaluarea potențialului la colaps progresiv a structurilor în cadre a fost studiată de G. Kaewkulchai și E.B. Williamson (2002). Astfel, luând ca exemplu un cadru plan inelastic cu un nivel și două deschideri, analizat static și respectiv dinamic după îndepărtarea stâlpului de mijloc, se obțin valori ale factorului de amplificare dinamică care variază între 1.40 și 2.68. Se arată astfel că efectele dinamice au un impact semnificativ asupra răspunsului structural. Pentru analiza la colaps progresiv a structurilor de tip cadre plane a fost propusă o metodologie care încorporează două metode, Metoda Newmark-beta și Metoda Newton-Raphson (G. Kaewkulchai și E.B. Williamson, 2004). Pe baza unui exemplu reprezentând un cadru plan cu două deschideri și două niveluri supus scenariului de tip "stâlp lipsă" (Fig. 10), se arată, de asemenea, importanța luării în considerare a efectelor dinamice în analiza la colaps progresiv. Prin compararea rezultatelor obținute (a deplasărilor în nodul direct conectat cu stâlpul îndepărtat rezultate din analiza statică și respectiv dinamică), se obțin valori ale factorilor de amplificare dinamică de 1.99 pentru o comportare elastică și respectiv 3.06 pentru o comportare inelastică a structurii. De asemenea, se arată că, în mod semnificativ, plasticitatea care se extinde de la zona stâlpului cedat este cu mult mai mare în cazul analizei dinamice în comparație cu analiza statică (Fig. 10).

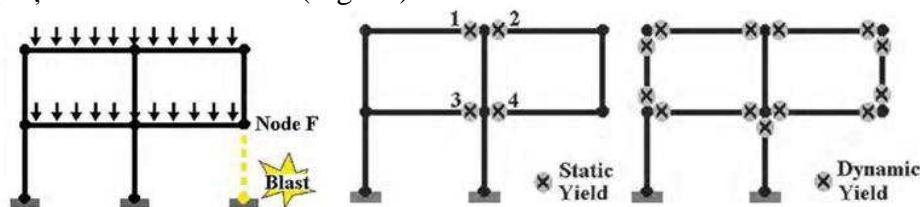


Fig. 10. Cadru supus cedării unui stâlp (a) și articulațiile plastice obținute

O altă metodă de analiză a structurilor în cadre din beton armat supuse efectului acțiunilor accidentale (explozii, impact) a fost propusă de Li Zhongxian și Shi Yanchao (2008). Aplicabilitatea metodei a fost studiată pe o structură în cadre din beton armat cu două deschideri și trei niveluri. Rezultatele au aratat ca metoda propusă este mai fiabilă din punct de vedere al estimării capacității de rezistență la colaps progresiv decât metoda bazată pe căi alternative (folosind procedura de analiză dinamică neliniară).

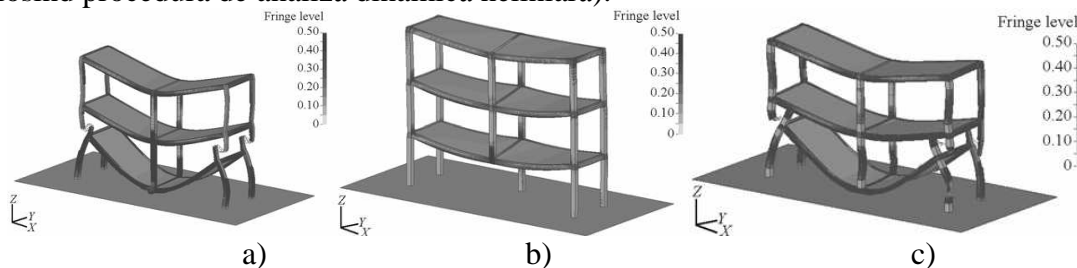


Fig. 11 Analiza structurii avariate cu: (a) metoda simulării directe; (b) metoda bazată pe căi alternative GSA; (c) Metoda propusă (Li, Z. și Shi, Y, 2008).

3.1.3. Studiu de caz – explozie de gaz in locuința

Studiul se refera la o explozie de gaz intr-o cladire publica petrecuta in data de 19.02.2012. Ulterior, în dimineața aceleiasi zile a avut loc o alta explozie într-un spațiu situat în același imobil. Cele două locații nu erau racordate la rețeaua de distribuție a gazelor naturale! Clădirea este realizata din pereți de cărămidă de grosime 0,5 m pentru pereții exteriori și zidarie BCA, cu o grosime de 0,30 m la interior. La locul producerii exploziilor, s-au efectuat măsurători metrice, măsurători cu detectorul portabil de gaz, s-au făcut observații asupra efectelor termice și s-au evaluat efectele dinamice produse în urma evenimentelor. Evenimentele produse la imobil, s-au soldat cu accidentarea a 21 de persoane, dintre care 17 persoane spitalizate (ulterior, înregistrându-se un deces) și efecte dinamice importante (distrugerea imobilului în proporție de 75 %). Cauza a constituit-o aprinderea amestecului inflamabil gaz metan-aer de aproximativ 20 m³, la limita inferioară de explozivitate, urmata apoi de o destindere de aproximativ șase ori a gazelor rezultate, adica un volum final de cca. 120 m³ gaze de ardere. În urma reacțiilor de ardere, la nivelul spațiului s-a creat o suprapresiune care a acționat asupra elementelor cladirii. Cea de-a doua explozie s-a produs in timpul inspectiei realizate de catre echipele de interventie. Concluziile au scos la iveala numeroase probleme, care pot servi ca lectii pentru viitor: nerespectarea Normelor Tehnice pentru proiectarea și executarea sistemelor de alimentare cu gaze naturale; acoperirea cu asfalt a aerisitoarelor de pe aliniamentul traseului gazului; măsurarea defectuoasă a concentrațiilor de metan, în timpul cercetării primului eveniment; reținerea mercaptanului în sol, fapt ce a determinat ca gazul metan care a pătruns în încăperile imobilului să nu poată fi sesizat olfactiv de către victime.



Fig. 12 Imobilul avariata

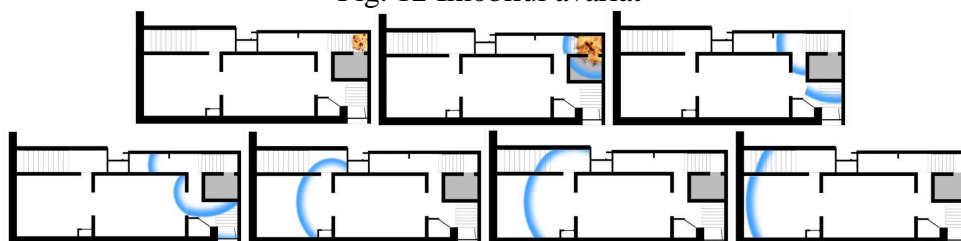


Fig. 13 Fazele propagării exploziei nr.1.



Fig. 14 Fazele propagării exploziei nr.2

3.1.4. Comentarii asupra rezultatelor existente

Pe baza rezultatelor obținute în studiile prezentate mai sus se pot distinge cateva observații generale:

1. Structurile proiectate și detaliate seismic au un potențial de colaps progresiv mai redus decât structurile proiectate neseismic când sunt supuse scenariului de tip “stâlp lipsă”.
2. Mecanismul principal de redistribuire a încărcărilor când structura este “avariata” îl constituie acțiunea de tip Vierendeel.
3. Apariția efectului catenar în grindă apare in general doar daca grinzile (sau plansele) sunt proiectate și detaliate seismic. Astfel, proiectarea/detaliera seismică corespunzătoare a

îmbinării stâlp-grindă poate preveni cedarea prin dezvoltarea acțiunii catenare în armătura superioară a grinzii; acest tip de acțiune apare la săgeți mari ale grinzilor.

4. Efectul de arc sporește capacitatea de rezistență a grinzilor. Astfel, luarea în considerare a acestui efect poate conduce la o creștere de 50-160% a capacității grinzii. Pentru a beneficia de efectul de arc, se recomandă ca, în faza de proiectare, să se utilizeze grinzi cu înălțimea secțiunii mare și procent de armare longitudinal mai mic, iar elementele adiacente (grinzi, stâlpi, plăci) să asigure a încastrare longitudinală corespunzătoare.
5. Robustețea structurală influențează capacitatea structurilor de a rezista la colaps progresiv sub efectul unor acțiuni accidentale/anormale. O structură mai robustă va avea un potențial mai scăzut la colaps progresiv.

3.2. Structuri în cadre metalice (CO)

Structurile în cadre metalice sunt considerate structuri cu o bună comportare la acțiuni extreme, având în vedere ductilitatea inerentă a oțelului și masa proprie mai redusă. Oțelul are de asemenea o rezistență ridicată comparativ cu betonul, ceea ce desigur este avantajos pentru rezistența la colaps progresiv. Experiența a arătat că proiectarea antiseismică conduce la o comportare foarte bună și la alte acțiuni extreme. Se pot astfel distinge mai mulți factori care contribuie la creșterea rezistenței la colaps progresiv și implicit la reducerea riscului:

- Sistemul structural:
 - o Sisteme cu redundanță ridicată
 - o Sisteme cu grinzi legate pe două direcții
 - o Evitarea rezemărilor indirecte (de exemplu stâlp pe grindă)
 - o Evitarea elementelor în consola
 - o Protecția la foc a elementelor principale
- Grinzile și îmbinările acestora:
 - o Se recomandă dimensionarea îmbinărilor la două stări limita:
 - Să se asigure rezistența plastică a grinzii
 - Să se asigure rezistența la întindere a grinzii
 - o Îmbinările trebuie să permită dezvoltarea unor rotații plastice mari fără cedare sau rupere fragilă
 - o Se recomandă folosirea îmbinărilor de rezistență completă pe ambele direcții la stâlpii perimetrali
 - o Se recomandă folosirea îmbinărilor de rezistență completă la toate prinderile grinzilor stâlp (dacă este posibil)
 - o În cazul planșeele mixte, se recomandă proiectarea grinzilor fără susținere, pentru a asigura o superezistență
 - o Atunci când se face un calcul plastic, se recomandă să se evite flambajul local sau cedarea din forfecare înainte de dezvoltarea momentului plastic capabil
- Stâlpi:
 - o Verificarea de stabilitate a stâlpilor pentru lungimi de flambaj mari, cauzate de cedarea unor grinzi, forțe axiale mai mari și interacțiunea moment - forța axială cu luarea în considerare a momentului plastic în grinzi.
 - o Secțiunile ductile pot preveni voalarea locală în cazul suprasolicitării la încovoiere
 - o Dacă este posibil, se recomandă utilizarea secțiunilor chesonate umplute cu beton sau a secțiunilor parțial înglobate în beton
 - o Pentru stâlpii din table sudate, se vor folosi materiale de adaos cu energie de rupere corespunzătoare
 - o Se va adopta conceptul de grindă slabă-stâlp tare pentru a forța dezvoltarea articulațiilor plastice în grinzi și nu în stâlpi
 - o Se recomandă dispunerea de plăci de continuitate pe stâlpi pentru a preveni încovoierea tălpilor în dreptul îmbinărilor atunci când grinzile trec din starea de solicitare de

încovoiere în cea de întindere (catenar). Plăcile de continuitate trebuie să fie capabile să transmită întinderea de la o grinda la alta de-a lungul inimii stâlpului

- Se recomandă dispunerea de placi suplimentare pe inima stâlpului
- Pentru stâlpii cu tălpi înguste, se recomandă dispunerea de legături pe tălpi pentru a reduce lungimea de flambaj
- Prinderea de continuitate trebuie să reziste la forța axială capabilă a stâlpilor și să permită deformații plastice mari. Se vor folosi prinderi cu șuruburi și eclise sau prinderi cu sudura dar cu material de adaos care să posede o energie de rupere corespunzătoare

- Planșee:

- Planșeele de beton armat pe suport din tabla cutata asigura o buna legare laterala a grinzilor
- Pentru a preveni separația grinzii de planșeul din beton, se recomandă folosirea conectorilor.
- Se vor dispune armaturi suplimentare sau armare pe doua direcții, pentru a permite dezvoltarea efectului de membrana
- Dispunerea de armaturi în zona mediana a planșeului sau dubla armare
- Lungimea de suprapunere a armaturilor trebuie să fie corespunzătoare. Nu se vor folosi dispozitive mecanice decât dacă este absolut necesar.
- Planșeele din beton ușor reduc incarnarea gravitațională, însă rezistența lor la o acțiune dinamică (e.g. explozie) este mai slabă decât cea a planșeelor din beton normal
- Planșeele trebuie să suporte încărcările gravitaționale în cazul pierderii unui stâlp sau a unei grinzi

3.2.1. Studii de caz

Turnurile gemene, WTC

Cedarea turnurilor WTC a fost cauzată de acțiunea combinată a impactului, urmat de explozie și apoi de incendiu. Deși avariile produse au fost la etaje diferite, mecanismul de cedare a fost asemănător. Conform studiului realizat de către National Institute of Standards and Technology (NIST, 2005), după impact aproape 13% din stâlpii de la nivelele afectate au fost avariați sau complet distruși. Scoaterea din lucru a unui număr așa mare număr de stâlpi a condus la redistribuirea sarcinilor spre alți stâlpi. Distrugerea protecției la foc a făcut ca multe dintre elemente să iasă din lucru în faza de propagare a incendiului. Prezenta sistemului de contravântuiri de la ultimele etaje a ajutat într-o oarecare măsură redistribuirea eforturilor de la elementele cedate către zonele adiacente. Epuizarea capacității portante la elementele ramase a condus în final la inițierea colapsului progresiv

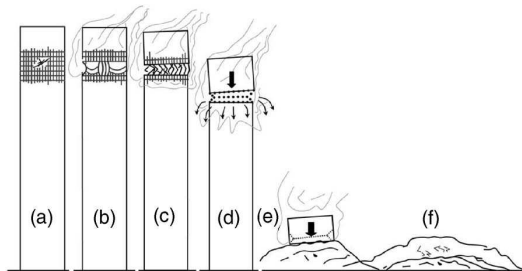


Fig. 15 Mecanismul de cedare a turnurilor WTC

Clădirea Deutsche Bank, 130 Liberty Street

Clădirea Deutsche Bank era situată în imediata apropiere a turnurilor WTC. Structura se compunea din cadre metalice necontravântuite, cu îmbinări rigide între grinzi și stâlpi. Prăbușirea turnului sudic al WTC a distrus fațada clădirii Deutsche Bank pe înălțimea a 24 de etaje și pe circa 9 m în interiorul clădirii. În afară de distrugerea planșeelor și a grinzilor din zonele afectate, au fost îndepărtați și stâlpi. Factorii principali care au asigurat supraviețuirea clădirii au fost redundanța structurii, care a asigurat căile secundare de transfer atunci când anumite elemente au fost scoase din lucru și îmbinările rigide, care au asigurat continuitatea și legăturile dintre elemente.

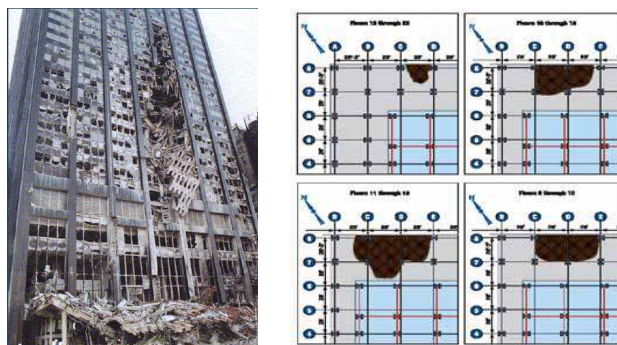


Fig. 16 Avarii la cladirea Deutsche Bank cauzate de prabusirea WTC

4. Reducerea riscului în cazul producerii unor acțiuni extreme

3.3. Metode de reducere a riscului

Reducerea riscului de cedare în cazul producerii unor acțiuni extreme ține cont de următorii factori:

- Prevenirea producerii unor evenimente care pot genera acțiuni extreme asupra clădirilor
- Prevenirea producerii unor avarii locale majore care pot induce colapsul global (progresiv)
- Prevenirea colapsului prin proiectare, alte mijloace pasive sau active.

Daca se considera evenimentul H care poate conduce la o situație extreme, atunci LD este evenimentul care conduce la avarii locale iar C este evenimentul care conduce la colapsul global. Probabilitatea de cedare structurala este data de ecuația următoare:

$$P(C) = P(C|LD) P(LD|H) \lambda_H \quad (4)$$

unde:

$$P[H] \cong \lambda_H$$

$P(LD|H)$ = probabilitatea unei avarii locale cauzate de acțiunea extrema

$P(C|LD)$ = probabilitatea de producere a colapsului din cauza avariilor locale

Aceasta descriere da posibilitatea alegerii măsurilor optime de reducere a riscului. Ultimii doi termeni se refera la masuri care îmbunătățesc rezistența elementelor cheie și respectiv la masuri de îmbunătățire a redundanței și capacitații de redistribuire a eforturilor și pot fi evaluate prin metode diferite. Acestea vor fi prezentate în secțiunea următoare.

3.4. Principii de calcul, prevederi din normele actuale

Proiectarea structurilor la acțiuni accidentale se împarte în doua categorii principale:

- Metode indirecte
- Metode directe:
 - o Metoda rezistentelor locale (sau a elementelor cheie): asigura rezistența structurii la o singura acțiune accidentală, constă în întărirea locală a elementelor critice
 - o Metoda căilor alternative de transfer: este mai intuitivă, asigură realizarea unui sistem structural cu redundanță sporită prin realizarea unor cai alternative de transfer, asigura verificarea robusteții structurii împotriva oricăror sarcini accidentale

Proiectarea indirectă:

În cadrul acestei metode, robustețea structurii este îmbunătățită prin anumite masuri constructive. Acest lucru se realizează prin utilizarea unor sisteme structurale adecvate, incluzând aici modul de dispunere a elementelor, raportul dintre caracteristicile acestora, modul de realizare a îmbinărilor. Metoda este indicată pentru construcții care nu necesită un nivel de protecție ridicat, deoarece gradul de siguranță oferit de aceste masuri cu caracter general este destul de redus.

Proiectarea directă:

Metoda rezistenței locale

În cadrul acestei metode, proiectantul calculează explicit elementele structurale critice să reziste la acțiunea directă respectivă (de exemplu presiunea dată de o explozie). Această metoda este de regulă eficientă împotriva unei singure acțiuni accidentale. Se mai numește și metoda elementelor

cheie. Metoda este cea mai indicată atunci când se evaluează integritatea clădirilor existente. Elementele cheie sunt acele elemente a căror cedare poate să pună în pericol cedarea parțială sau totală a structurii. Aceste elemente cheie se proiectează de regulă la o suprasarcina cu valoarea de 34 kPa. O astfel de acțiune accidentală se combina cu 1/3 din celelalte încărcări de pe structura:

$$D + L/3 + W_n/3 \quad (5)$$

unde:

D = încărcarea permanentă, L = încărcare utilă, W_n = încărcare din vânt.

Încărcare din vânt simulează efectul de stabilitate globală și poate fi înlocuit de imperfecțiunea globală. Această metoda este deseori singura abordare rațională în cazul reabilitării unor clădiri existente.

Metoda căilor alternative

Metoda asigură verificarea directă a capacitații structurii să reziste în cazul în care un element structural principal cedează dintr-o anumită cauză (de exemplu un stâlp). Încărcările din elementul cedat trebuie să se distribuie și să poată fi preluate de elementele învecinate, pentru a împiedica extinderea avariei la celelalte elemente. Această metodă reduce riscul producerii colapsului progresiv prin îmbunătățirea redundanței structurale. Metoda nu necesită definirea încărcării care conduce la cedarea elementului structural, fiind deci o metoda independentă de tipul de acțiune accidentală. Avantajele acestei metode sunt date de faptul că structurile astfel conformate au caracteristici bune de ductilitate, continuitate și absorbție a energiei. Aceasta metoda este similară cu metodele de calcul seismic:

- Proiectarea antiseismică conduce la sisteme structurale regulate, cu legături corespunzătoare
- Calculul seismic conduce de asemenea la îmbinări și detalii ductile, capabile să asigure deformații plastice semnificative.

Tranziția de la structura originală la structura avariata se produce de regula într-un timp foarte scurt, astfel că apar efecte de amplificare dinamică. În literatura de specialitate sunt prezentate patru metode principale de analiză structurală: static elastic, static inelastic, dinamic elastic, dinamic inelastic. Pentru fiecare tip de analiză, sunt descrise și combinațiile de încărcări corespunzătoare.

Analiza statică elastică

Metodele elastice au unele limitări, în special prin aceea că structura rămâne în domeniul elastic de comportare și în plus, neglijează efectele dinamice. De aceea, se recomandă folosirea ei la clădiri simple, cu nivel de risc redus

Analiza statică inelastică

Analiza statică inelastică ia în considerare efectele dinamice prin intermediul unui factor de amplificare. Încărcările sunt aplicate incremental pe direcție verticală obținându-se o curbă forță-deplasare (sau push-down). Criteriile de acceptare pentru elemente se definesc în funcție de limitele de deformabilitate.

Analiza dinamică elastică

Analiza ia în calcul amplificarea dinamică asociată cu cedarea brusca a unui element structural. Are dezavantajul că nu modelează incursiunile în domeniul plastic și redistribuția eforturilor. Rezerva de capacitate portantă se exprimă de regula prin factori de suprarezistență.

Analiza dinamică inelastică

Este o metoda avansată și riguroasă pentru evaluarea capacitații unei structuri de a evita colapsul progresiv în cazul cedării unui element critic. Se utilizează de regula de către specialiști cu experiență. Criteriile de acceptare se exprimă prin nivele de deformație plastică.

3.5. Reducerea riscului prin controlul mecanismului de cedare

Conceptul de reducere a riscului de cedare prin controlul mecanismului de cedare este un concept modern, care poate fi considerat din acest punct de vedere cel mai potrivit pentru prevenirea colapsului structurii sub acțiunea unor încărcări neprevăzute, cu mare intensitate. În principiu, aceasta metoda de proiectare evaluează și îmbunătățește redundanța clădirii în primul rând prin evaluarea stării clădirii după cedarea unor elemente structurale principale (Fig. 17).

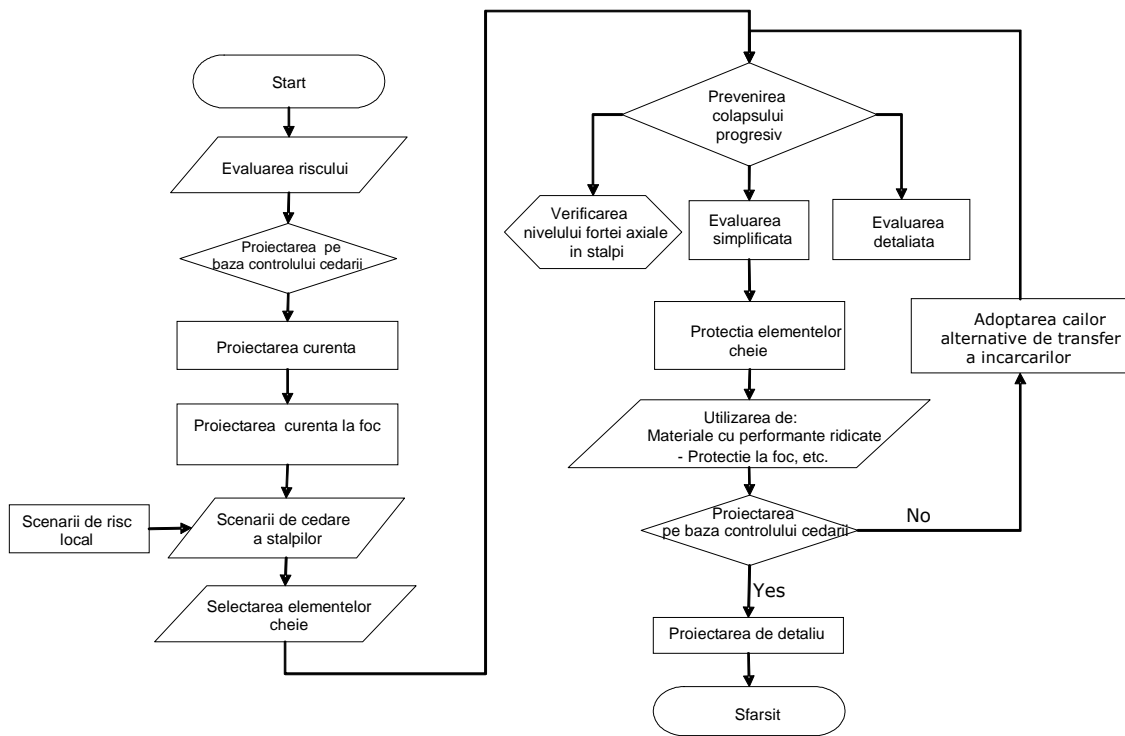


Fig. 17 Diagrama care prezintă conceptul de proiectare bazat pe controlul mecanismului de cedare

Pe baza analizării etapelor, se pot distinge mai multe metode de îmbunătățire a robusteții: crearea de cai alternative de transfer: se poate enumera aici efectul Vierendeel, efectul catenar, efectul de arc sau efectul de legare, creșterea capacitații de redistribuire a eforturilor, de exemplu legarea grinzilor în noduri prin îmbinări rigide și de rezistența completa, utilizarea unor îmbinări ductile sau creșterea rezistenței la foc a elementelor.

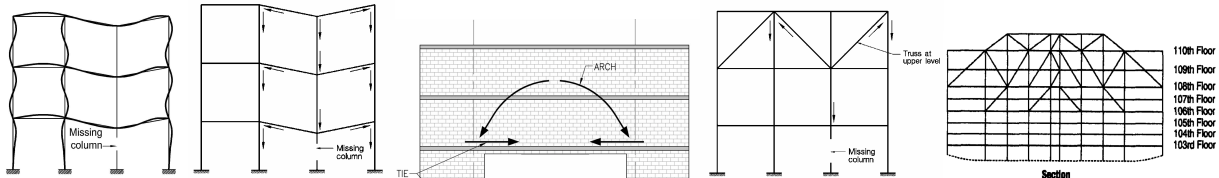


Fig. 18 Moduri de creare a unor căi alternative de transfer

5. Analize preliminare și selectarea structurilor pentru analiza

4.1. Analize preliminare

Rezultatele preliminare obținute în urma studierii răspunsului structurilor la cedarea unui stâlp au arătat că sistemele au o robustețe corespunzătoare, indiferent că stâlpul este de colt, perimetral sau interior (Fig. 19). Structurile proiectate pentru accelerații seismice mai mari prezintă o comportare superioară celor proiectate la acțiuni mai reduse. Structurile cu legături pe două direcții pot suporta pierderea a doi stâlpi fără inițierea colapsului. În situația celor cu legături pe o singură direcție însă, pierderea a doi stâlpi poate conduce la cedarea structurii, mai ales la cele care sunt proiectate la accelerații seismice reduse (Fig. 20). O importanță majoră în prevenirea colapsului o are capacitatea îmbinării de a permite dezvoltarea efectului catenar în grinzi în faza ultimă. Studiile preliminare au arătat că îmbinările cu placa de capăt și șuruburi au o capacitate suficientă dacă sunt dimensionate să cedeze în modul 2, adică cedarea să se producă prin încovoierea plăcii de capăt și apoi ruperea șurubului (Fig. 21). Pentru a studia capacitatea îmbinării la întindere, aceasta poate fi descompusă în sub-componente care apoi sunt studiate numeric și experimental. De asemenea, o contribuție importantă la creșterea rezistenței la colaps progresiv o are realizarea conlucrării între grinzi metalice și planșeul din beton și de asemenea armarea suficientă a planșeului. În cazul unor structuri cu redundanță redusă, realizarea unui sistem de planșee cu armare pe două direcții și o legătura

solida cu structura de susținere poate asigura redistribuția eforturilor din zonele afectate, inclusiv prin dezvoltarea efectului catenar (membrană) în planșeu. Planșeele au de asemenea un rol important în izolarea compartimentelor afectate de incendiu și împiedicarea propagării la compartimentele adiacente.

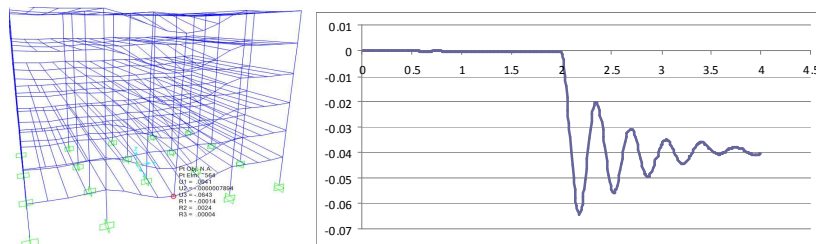


Fig. 19 Analiza colapsului progresiv pentru structura necontravantuata, proiectata în zona seismica $a_g=0.32g$, legături pe doua direcții

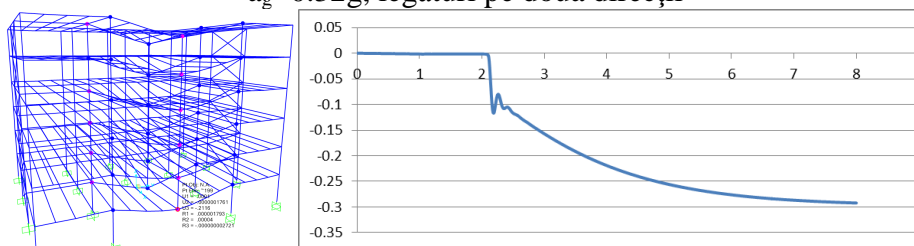


Fig. 20 Analiza colapsului progresiv pentru structura contravantuata, proiectata în zona seismica $a_g=0.08g$, legături pe o singura direcție

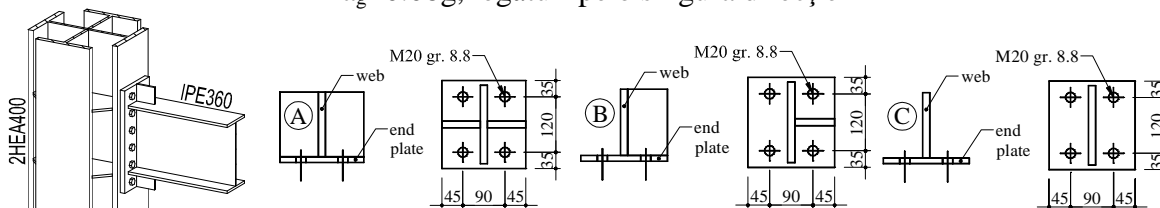


Fig. 21 Îmbinarea grinda-stalp și subcomponentele ei

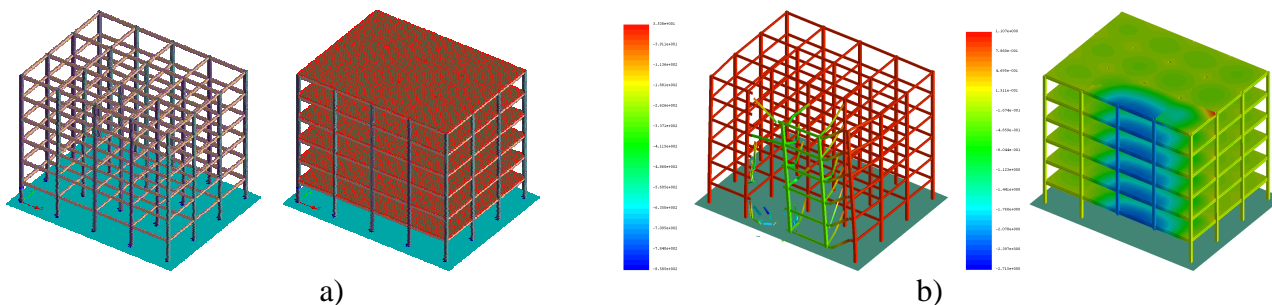


Fig. 22 Analiza robustetii: a) modelul 3D; b) starea deformată, 2 stâlpi perimetrali cedati, structură cu legătura pe o singura direcție

4.2. Selectarea structurilor pentru analiză

Realizarea studiilor numerice și experimentale care se vor desfășura în etapele următoare are la bază structuri în cadre pentru clădiri multietajate. Vor fi studiate clădiri cu diferite regimuri de înălțime, cu sau fără contravântuiri verticale, diverse soluții de îmbinări și soluții de planșee. Aceste clădiri se vor dimensiona în conformitate cu normele actuale, la acțiuni din gruparea fundamentala și gruparea care include seismul, dar fără luarea în considerare a acțiunilor accidentale (Fig. 23).

Din aceste structuri proiectate se vor extrage nodurile și subansamblele pentru studiile experimentale: noduri grinda-stâlp pentru încercări monotone cvasi-statice; noduri grinda-stâlp pentru încercări la explozie; componente de îmbinare la temperaturi ridicate; subansamble de doua travei și doua deschideri la pierderea unor stâlpi.

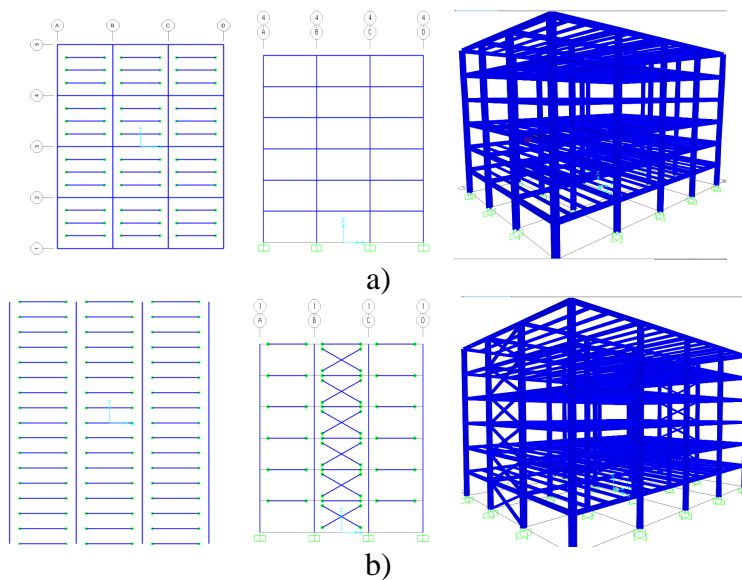


Fig. 23 Tipologiile de structuri considerate: a) structură necontravântuită; b) structură contravântuită

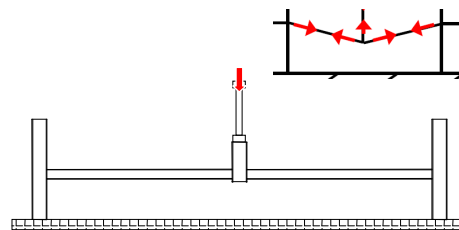


Fig. 24 Specimenele de subansamble pentru încercări monotone, selectate din structurile studiate

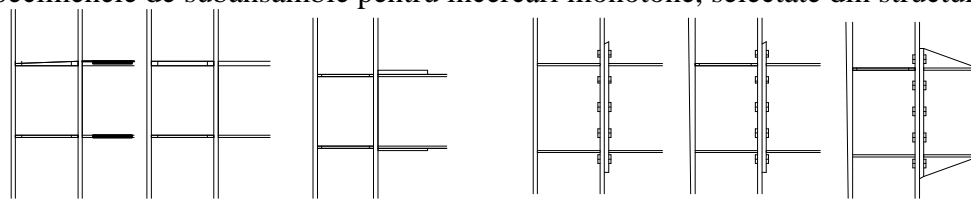


Fig. 25 Specimenele de noduri pentru încercări, selectate din structurile studiate

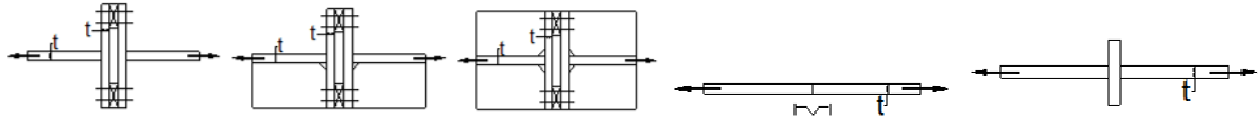


Fig. 26 Specimenele de macrocomponente pentru încercări, selectate din nodurile studiate

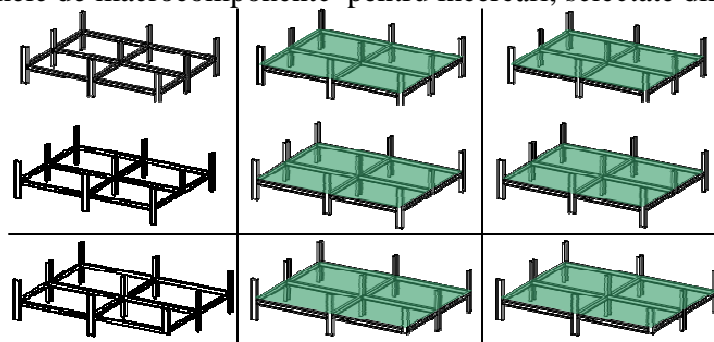


Fig. 27 Specimenele de subansamble pentru încercări la cedarea unui stâlp, selectate din structurile studiate

Încercările la explozie se vor realiza în două moduri:

- Încercări pe elemente scara 1:1 sau 1:2 în interiorul buncărului de împușcări;
- Încercări pe elemente scara 1:2 în aer liber.

Prima schemă (în interiorul buncărului) reproduce situația în care elementul de construcție este în

interiorul construcției și trebuie luată în calcul atât unda directă de explozie cât și unda reflectată de pereți. Această configurație va permite ca pentru elemente scara 1:1 să se declanșeze explozia unei cantități de explozivi de până la 5 kg echivalent TNT. Explozivul se va putea așeza în proximitatea structurii metalice la diferite distanțe sau chiar aplicat pe acestea. Se dorește efectuarea de încercări cu diferite tipuri de explozivi, cu parametrii balistici diverși (putere, viteză de detonație, presiune de explozie).

A doua schemă (în aer liber) reproduce situația în care explozivul este în afara clădirii și detonația afectează în primul rând elemente de construcție marginale. Se va lucra doar cu elemente scara 1:2 deoarece cantitatea de exploziv va fi limitată pe considerente de securitate la 2 kg echivalent TNT și se presupune că la scara 1:1 având în vedere rezistența mecanică crescută a elementelor nu se vor constata deformații semnificative.

6. Rezultate obținute și modul de diseminare a rezultatelor

Rezultatele obținute în etapa 1/2012 constau în principal în prelucrarea informațiilor relevante din lucrări sau programe recente de cercetare din domeniul temei și de asemenea din studii preliminare referitoare la structurile care vor fi analizate teoretic, experimental și numeric în cadrul etapelor următoare. S-au avut în vedere aici atât tipurile de structuri, noduri și detalii de prindere cât și schemele experimentale care pot fi utilizate, având în vedere configurațiile și limitările laboratoarelor de încercări din cadrul instituțiilor partenere. A fost începută construcția unei baze de date cu evenimente extreme cauzate de acțiuni accidentale, cum ar fi explozii de gaze în încăperi. Aceste informații conțin cauzele producerii evenimentelor, efectele măsurate (cantitativ și calitativ), observații și concluzii în urma investigațiilor desfășurate. Pentru realizarea în comun a studiului, s-a elaborat un material care prezintă repere esențiale ale experienței INCD-INSEMEX Petroșani în expertizarea tehnico-științifică a unor evenimente datorate exploziilor în diverse tipuri de clădiri în ultimii ani.

Valorificarea acestor rezultate preliminare și diseminarea lor se va face prin publicarea unor lucrări de cercetare în cadrul unor manifestări științifice naționale și internaționale și în reviste de specialitate. Trei dintre propuneri au fost deja trimise și acceptate: 1) Effect of connection between R.C. slab and steel beams in multistory frames subjected to different column loss scenarios (4th International Conference on Integrity, Reliability & Failure, Portugal, 23-27 June 2013); 2) Collapse prevention design criteria for moment connections in multistory steel frames under extreme actions (4th International Conference on Integrity, Reliability & Failure, Portugal, 23-27 June 2013); 3) Robustness demands for structural joints of multistory steel building frames under elevated temperature, Fourth International Conference on Performance, Protection and Strengthening of Structures under Extreme Loading, India, August 26-27, 2013.

De asemenea, au fost făcute prezentări în cadrul unor manifestări științifice și reuniuni ale unor comisii tehnice internaționale, cum ar fi: 1) Conferința Internațională „First International Conference for PhD students in Civil Engineering” CE-PhD 2012, 4-7 November 2012, Cluj-Napoca, România; 2) Reuniunea Comitetului Tehnic 13 „Seismic Design” al Convenției Europene de Construcții Metalice ECCS, Luxembourg, 23 noiembrie, 2012; Nordic Steel Conference, 2012.



Discuțiile purtate în urma prezentării din cadrul reuniunii TC13 din Luxemburg au arătat un interes deosebit din partea partenerilor prezenți la întâlnire (universități, centre de cercetare și industrie)

pentru proiectul prezentat, actualitatea și necesitatea lui în contextul dezvoltării unor prevederi europene unificate referitoare la robustețea clădirilor. De asemenea, au fost inițiate discuții pentru lansarea unui proiect european de cercetare având ca subiect robustețea clădirilor, urmând ca acestea să se concretizeze prin redactarea unei propuneri de proiect în cadrul programului european FP7.

7. 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.
- Department of Defense DOD UFC 4-023-03 (2010): Unified Facilities Criteria (UFC), Design of Buildings to Resist Progressive Collapse.
- Ellingwood, B. and E.V. Leyendecker, 1978, "Approaches for design against progressive collapse." J. Struct. Div. ASCE 104(3):413-423.
- 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 Technology, 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.