

Siguranța structurilor ușoare la acțiunea vânturilor severe și a exploziilor în aer

The safety of light structures subjected to severe winds and explosions in air

Ludovic Kopenetz¹, Alexandru Cătărig²

¹Universitatea Tehnică

Str. C. Daicoviciu, nr.15, Cluj-Napoca, România

E-mail: ludovic.kopenetz@mecon.utcluj.ro

²Universitatea Tehnică

Str. C. Daicoviciu, nr.15, Cluj-Napoca, România

E-mail: alex.catarig@mecon.utcluj.ro

Rezumat. Datorită flexibilității lor, modul de comportare a structurilor ușoare la acțiunea vânturilor severe și a exploziilor în aer, diferă substanțial de comportamentul structurilor masive. De aceea, lucrarea urmărește prezentarea cunoștințelor de bază privind metodologia de analiză structurală necesară alcătuirii și realizării unor structuri ușoare cu comportament robust și siguranță adecvată la acțiuni extreme, neașteptate. Prin prisma acestor aspecte, studiul siguranței structurilor ușoare, corelat cu concepte de alcătuire specială pentru asigurarea integrității lor, are o importanță deosebită.

Cuvinte cheie: structuri ușoare, vânturi severe, explozii în aer

Abstract. Based on their flexibility, the light structures subjected to severe breaking winds and explosions in air, behave substantially different to massive structures. From this reason, the goal of this paper is to present a state of art regarding the methodology of structural analysis necessary to create light structures with robust behaviour and adequate strength to extreme, unexpected actions. From this point of view, the study of the light structures safety, correlated with principles of special design to ensure their integrity, proved to be of very special importance.

Key words: light structures, breaking winds, explosions in air

1. Introducere

Noțiunea de structură ușoară înseamnă un sistem constructiv obținut prin asamblarea înghegată a unor segmente, părți, obiecte într-un tot unitar logic întreg, utilizând o cantitate redusă de material pentru transferul unității de lucru mecanic. Structurile ușoare fac parte din categoria structurilor flexibile având ca și caracteristică comună forme de apariție apropiate de optimul structural.

În ultimii ani aceste tipuri de construcții s-au extins pe plan mondial datorită avantajelor constructive și a economicității lor. Ele se remarcă prin greutate proprie mică și consumuri reduse de materiale.

Exemple în acest sens sunt numeroase, de la cu structurile portante cu cabluri și membrane tensionate mecanic sau pneumatic până la structurile realizate din bare cu pereți subțiri din oțel sau beton armat precomprimat din clasa structurilor Pantadome.

Materialele folosite pentru realizarea acestor structuri sunt: lemnul, oțelul, cablurile din oțel, betonul armat precomprimat și membranele din materiale plastice sub formă de folii.

Foliile membranelor pot fi realizate din materiale izotrope (oțel, aluminiu, poliesteri, polietilenă etc.) și din materiale anizotrope (table metalice ondulate sau cutate sau materiale izotrope armate cu fibre organice, minerale, sintetice etc.).

Dintre acțiunile accidentale cu caracter dinamic care afectează aceste structuri se pot menționa: efectul dinamic al vântului, efectul undei de șoc a exploziilor în aer și efectul dinamic al șocului seismic.

Șocul seismic se manifestă ca o acțiune dinamică considerabilă numai când structura este încărcată cu zapadă. În aceste circumstanțe, luând în considerare diverse coduri de proiectare naționale și internaționale, răspunsul dinamic principal apare din acțiunea vântului și din acțiunea undei de șoc a exploziilor în aer.

Răspunsul structurilor ușoare la acțiunea vânturilor severe și a exploziilor în aer apare cu particularități deosebite din următoarele cauze:

- caracterul acțiunilor dinamice, în general, și a vântului, în special, nu este complet cunoscut, în sensul că ele nu sunt încărcări dinamice prescrise, adică pot fi definite corect numai din punct de vedere statistic, ca și acțiuni dinamice aleatoare,
- lacunele cunoștințelor actuale sunt acoperite cu coeficienți de siguranță mai mari sau mai mici, discutabili economic și tehnic.

O structură ușoară trebuie să satisfacă următoarele criterii generale: să fie sigură constructiv, să fie durabilă, să răspundă la funcțiunea proiectată.

Peste aceste condiții clasice de bază se suprapun mai nou cerințele de robustețe structurală, caracterizate prin evitarea colapsului în lanț sau progresiv și păstrarea integrității structurale.

Colapsul în lanț sau progresiv poate să apară din anumite cedări structurale locale sau globale, din acțiunea vânturilor severe sau din acțiunea efectului undei de șoc a exploziilor, din accidente sau din atacuri teroriste.

2. Acțiunea vântului

În majoritatea codurilor, acțiunea vântului se consideră numai pentru construcții uzuale, precizând că pentru cele ne uzuale este necesar să se facă studii speciale de ingineria vântului.

Se știe că la stațiile meteo viteza vântului se măsoară cu girueta prevăzută cu placă, citind două valori: viteza mediată pe două minute și viteza maximă instantanee (viteza rafalei).

În condițiile Câmpiei Române viteza mediată se acceptă ca fiind cuprinsă între 25 și 35 m/s.

Considerând o distribuție normală tip Gauss, vitezei de 35 m/s îi corespunde o asigurare de cca. 2%, iar la cea de 25 m/s apare o asigurare de 30 %. Pentru viteza

maximă necesară, în calcule se poate lua valoarea vitezei mediate cu o amplificare de 1,5-1,8 (considerand o relatie liniara între viteze), [1], [2], [3].

În ceea ce privește rafalele, statistic s-a observat că pentru viteze mediate de peste 15 m/s perioada rafalelor este între 1,0 și 2,0 secunde.

Pentru vânturi severe se va considera caracterul real al vântului, adică o curgere turbulentă, în locul curgerii laminare. În acest fel, la acțiunea rafalelor apare fenomenul de zguduire (zdruncinătură) sau “buffeting”, după cercetarile Profesorului R.H. Scanlan (USA).

Acțiunea vântului asupra structurilor ușoare trebuie considerată atât sub aspectul ei static cât și sub cel dinamic.

3. Comportarea structurilor ușoare existente la vânturi severe și explozii în aer

Starea unei structuri portante ușoare realizate depinde atât de gradul de vulnerabilitate cât și de gradul de degradare a structurii existente in situ. Gradul de vulnerabilitate la acțiunea vântului depinde de modul de alcătuire utilizat pentru structură și de concepția implementată pentru disiparea energiei indusă în structură, de vânt și explozii în aer. Gradul de degradare depinde de natura și frecvența de localizare a avariilor fizice în ansamblul construcției, [4], [5].

În domeniul structurilor ușoare cele mai multe accidente apar, în general, după furtuni puternice. Recordul de avarii s-a constatat în Germania, după o furtună cu vânt sever produsă în 13 noiembrie 1972, când au fost avariate grav cca.150 de construcții ușoare. În România, un accident de acest gen s-a produs la clădirea de adăpostire a vestigiilor traco-dacice de pe vârful dealului Cătălina de lângă Cotnari, județul Iași.

O categorie de avarii la structuri ușoare, din acțiunea vânturilor severe și a exploziilor în aer, o reprezintă și deteriorările provocate de corpurile străine luate de curent și izbite de structură. Astfel de efecte se cunosc la tornade, care se manifestă printr-o mișcare de rotație extrem de puternică.

Mecanismele de cedare, rupere, a legăturilor pot fi fragile, adică să se producă brusc, fără deformații plastice, și ductile. Geometria cedărilor reprezentată prin fisuri, crăpături, este direct proporțională cu starea de eforturi existentă în zona avariata.

4. Simularea comportării structurilor ușoare la vânturi severe și explozii în aer

Răspunsul static și dinamic al structurilor ușoare, din acțiunea vântului, prezintă o multitudine de aspecte particulare, pe de o parte, datorită caracterului aleator al acțiunii vântului și, pe de altă parte, datorită proprietăților aerodinamice ale structurii, precum și a interacțiunii care apare între vânt și structură, [6], [7].

Această interacțiune este specifică fiecărui tip de construcție ușoară în parte. La ora actuală simularea comportării la vânt a acestor structui, adică evaluarea răspunsului dinamic, se face după următoarele metode:

a. Metode care operează cu forțe dinamice evaluate experimental folosind coeficienții aerodinamici ai structurii.

- b. Metode care se bazează pe teoria dinamicii fluidelor.
- c. Metode probabilistice, adică nedeterminate.

4.1. Simularea comportării structurilor ușoare la vânt folosind coeficienții aerodinamici

Metoda are la bază echivalarea acțiunii vântului cu forțe dinamice oarecare.

Determinarea coeficienților aerodinamici, în cazul structurilor ușoare, pentru care nu există similitudini în literatura de specialitate, se face în tunele aerodinamice. Modelul pentru studiu în tunel aerodinamic se recomandă a fi de tip flexibil, utilizând criteriile de similitudine elastică și aerodinamică.

În cadrul similitudinii elastice, utilizarea modelului elastic impune folosirea criteriului de similitudine Hooke.

În privința similitudinii aerodinamice, experimental s-au găsit variații mici ale coeficienților aerodinamici în funcție de numărul lui Reynolds, astfel încât la probleme practice se poate trece peste cerința respectării aceluiași număr Reynolds, fără a compromite rezultatele.

Vânturile severe se vor simula în tunele aerodinamice utilizând curenți de aer în regim pulsatoriu. Având coeficienții aerodinamici (care exprimă raportul dintre presiunea măsurată în fiecare punct și presiunea dinamică a curentului) și presiunea dinamică a curentului, înregistrată în funcție de timp, se pot calcula pentru fiecare interval de timp mărimile forțelor dinamice corespunzătoare.

Pentru simularea conceptuală se poate considera vântul ca și o încărcare de tip impuls.

Esențială este în aceste cazuri stabilirea corectă a duratei impulsului. Durata impulsului fiind în general foarte mică, răspunsul maxim al structurii apare la un interval de timp comparabil cu această durată și, în consecință, se poate neglija influența amortizării asupra răspunsului maxim al structurii.

Mărimea răspunsului dinamic care rezultă în urma acțiunii încărcării de tip impuls depinde de raportul dintre durata încărcării și perioada proprie de vibrație a structurii. La structuri ușoare, din analiza rezultatelor simulării pentru mai multe cazuri, se constată că răspunsul maxim apare în faza de pe durata încărcării și foarte rar în faza următoare, adică în faza vibrației libere.

Pentru inginerul de structură este de mare interes cunoașterea răspunsului maxim și nu are importanță cunoașterea istoriei complete a răspunsului. În acest sens se pot utiliza spectre de răspuns, adică reprezentarea factorului de amplificare dinamică (DAF) în funcție de raportul dintre durata impulsului și perioada proprie de vibrație a structurii.

Având spectrul de răspuns se poate anticipa efectul maxim de așteptat, produs de un vânt sever simulat sub forma unui impuls dreptunghiular, triunghiular sau semisinus.

În vederea aplicării acestui concept la structurile ușoare complexe, este necesară echivalarea structurii reale cu o structură simplă (SGLD), iar forța dinamică

din vânt, simulat cu diverse tipuri de impuls, se va considera ca o acțiune constantă pe intervalele de timp luate pentru discretizare.

Durata de timp a rafalelor se va lua egală cu durata medie a rafalelor din zonă, iar mărimile lor se obțin ca produse între coeficientul aerodinamic maxim sau minim a structurii cu un grad de libertate dinamic și presiunea dinamică considerată pentru vântul sever.

Pentru simularea digitală a comportării structurilor ușoare la vânturi severe și explozii în aer se poate utiliza programul de calcul SUM_01. Acest program permite pe lângă abordarea structurilor ușoare alcătuite din bare și pe cea a structurilor în alcătuirea cărora intervin membrane flexibile cuplate cu caburi, [8].

4.2. Evaluarea comportării structurii ușoare din efectele de interacțiune cu vânt și explozii în aer, pe baza dinamicii fluidelor

Formularea interacțiunii structură ușoar-vânt, în esență constă în cuplarea ecuațiilor diferențiale ale mișcării fluidelor vâscoase cu ecuațiile dinamicii neliniare. Se consideră curgerea fluidului incompresibil, datorită faptului că modificarea relativă a densității aerului este foarte mică. Dacă prin utilizarea metodei elementelor finite, în privința discretizării și a alegerii tipului de element finit, nu sunt deosebiri esențiale față de varianta clasică a formulării neliniare (Newton-Raphson), diferențele apar în zona formulării ecuațiilor de mișcare.

Pentru fluidul (aerul) în mișcare se acceptă o reprezentare Euleriană (caz în care elemental finit ales va fi considerat fixat în spațiu), iar pentru structura ușoară se acceptă ecuațiile de mișcare în varianta Lagrangeană (situație în care elementul finit se află în mișcare și deformare). Pentru vecinătatea imediată a structurii, unde mișcarea aproape irotațională se transformă în mișcare puternic rotațională, se adoptă o formulare mixtă Euleriană și Lagrangeană.

Prin aproximarea separată a necunoscutelor (viteze și presiuni), forma globală a ecuației lui Navier-Stokes și a condiției de continuitate pentru cazul fluidelor vâscoase incompresibile se obține în funcție de vectorul accelerațiilor nodale locale, matricea de convecție, presiuni, vâscozitate, iar pentru structura ușoară ecuația mișcării se scrie sub forma clasică Newton-Raphson.

4.3. Modelarea stochastică a vântului sever și a exploziilor în aer

Este cunoscut faptul că acțiunea vântului și a exploziilor în aer asupra unei structuri ușoare, pe un amplasament oarecare, având un caracter aleator, o modelare stochastică pare a fi cea mai potrivită.

Numărul datelor asupra mișcării vântului și a exploziilor în aer are un caracter limitat, ca atare nu se poate utiliza direct analiza statistică.

Având în vedere aceste incertitudini, vânturile severe și exploziile în aer pot fi considerate ca fiind suprapunerea unor impulsuri aleatoare de scurtă durată, care sosesc întâmplător în timp.

În acest context pe durata celor mai frecvente vânturi severe se poate lua în considerare modelarea acestei faze cu un proces de zgomot alb de durată limitată. În scopuri analitice se pot genera funcții eșantion, care să aproximeze zgomotul alb.

Pentru faza de concepție-proiectare a structurilor portante ușoare, luând în considerare neliniaritatea sistemului, răspunsul stochastic se realizează fără utilizarea principiului superpoziției sau a suprapunerii. În acest caz se recomandă generarea unor acțiuni din vânturi severe, utilizând metode de tip Monte Carlo.

Analiza răspunsului dinamic din acțiuni aleatoare se face de regulă în domeniul frecvenței folosind metoda denumită în literatura de specialitate analiza armonică sau analiza Fourier. Metoda se bazează pe folosirea transformatei Fourier discrete, adică pe discretizarea domeniului frecvenței într-un număr de porțiuni (N puncte).

Pentru fiecare interval se face precizarea valorii funcției de timp $f(n)$, respectiv valorile spectrale ale transformatei Fourier $F(k)$ pentru frecvență $k \cdot \Delta f$. Dintre algoritmii de calcul se recomandă utilizarea transformatei Fourier rapide FFT (Fast Fourier Transformation), pe baza criteriilor de precizie și a vitezei de procesare.

5. Siguranța comportării structurilor ușoare din acțiunea vânturilor severe și a exploziilor în aer prin prisma conceptelor și a codurilor de proiectare

În vederea controlului comportării structurilor ușoare din acțiunea vânturilor severe și explozii în aer se face o analiză a răspunsului dinamic corelată cu considerarea unor măsuri de alcatuire complexe privind alegerea geometriei (forme), fracționarea energetică a structurii și creșterea amortizării vibrațiilor [9], [10].

5.1. Alegerea geometriei structurii ușoare

Se știe că în cazul structurilor ușoare forma sau geometria inițială reprezintă cheia pentru a obține o construcție stabilă și sigură pe întreaga durată de exploatare. În cazul acestor structuri apare o situație inedită față de structurile clasice, în sensul că aici *forma este structura și structura este forma*. Relația formă-structură apare într-o condiționare reciprocă acum, adică structura portantă nu se poate considera separat ci în contextul forme.

Dată fiind flexibilitatea mare a acestor structuri se recomandă ca geometria inițială să respecte principiul natural al minimului. În acest context se va căuta ca forma structurilor ușoare să se apropie de forma suprafețelor cu arie minimă, a căror rezolvare analitică este posibilă numai pentru anumite forme de contur. Suprafețele de arie minimă sunt acele suprafețe care, dintre toate suprafețele care trec printr-o curbă strambă, au cea mai mică arie.

În cazul unor forme incorecte sunt posibile deplasări mari greu controlabile chiar și în situația introducerii unor tensionări suplimentare (adică suntem în prezența unui mecanism), sau pot să apară deplasări finite importante datorită deformabilității structurii.

5.2. Fraționarea energetică a structurii ușoare

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor dinamice se recomandă realizarea structurilor ușoare sub forma autoamortizoare, adică fraționarea energetică a structurii cu posibilitatea de transfer de energie de la un element structural (strat-corp) la altul.

Adoptarea acestei soluții are ca urmare diferențierea frecvențelor de vibrație. Astfel, structurile ușoare alcătuite multistrat sau multicorp au comportare dinamică mult îmbunătățită față de structurile monostrat sau monocorp.

O măsură simplă și ușor de aplicat o reprezintă realizarea dezacordului frecvențelor prin modificarea forței de pretensionare.

5.3. Amortizarea vibrațiilor

La structurile ușoare amortizarea dată de materialul structural aproape nu există pentru că tensiunile rămân practic neschimbate în timpul oscilației.

Mărirea amortizării se poate realiza cu o anumită eficiență utilizând amortizori punctiformi.

În ceea ce privește cuantificarea amortizării se poate remarca faptul că acest aspect este, în general, greu de mânuit chiar și pentru structurile simple.

Se cunoaște faptul că prin amortizare disipându-se energie, amplitudinile oscilațiilor libere se micșorează. Sunt foarte multe cazuri în care apare așa numita amortizare negativă, când în urma oscilației se produce o creștere a energiei (fluturare).

Amplitudinile mari ale oscilațiilor la structuri ușoare se pot explica fizic numai prin excitația parametrică, adică prin apariția unei perturbații asupra unui parametru care influențează frecvența proprie.

Amortizarea structurală și amortizarea aerodinamică fiind neglijabile în cazul acestor structuri, apare necesitatea prevederii unor amortizoare.

Amortizoarele utilizate în prezent sunt antivibratoare sau absorbitoare de vibrații hidraulice. Amortizoarele de tip antivibrator apar sub forma unor mase legate elastic de structură, având vibrații în contrafaz cu vibrațiile structurii, micșorând astfel amplitudinile vibrațiilor structurii. Se recomandă folosirea antivibratoarelor cu amortizare hidraulică sau prin frecare, fiindcă antivibratoarele fără amortizare schimbă frecvența proprie, dar amortizarea nu. Amortizoarele hidraulice necesită un punct fix de care sunt legate, în afara legăturii cu structura. Valorile coeficienților de amortizare se aleg prin încercări experimentale sau prin încercări numerice.

Un exemplu remarcabil pentru astfel de amortizoare apare la Hala olimpică de natație și judo din Tokio. În acest caz pentru acoperișul ușor având dimensiunile în plan de 120×214 mp, în vederea amortizării vibrațiilor produse de vânturi severe s-au montat, în zona acoperișului, 12 amortizoare cu ulei, având o construcție specială prin care se realizează un coeficient de amortizare de 28 kN/cm/s .

În afară de aceste amortizoare se utilizează și sisteme automate de creare a unor sucțiuni interioare prin pornirea unor ventilatoare puternice, atunci când amplitudinile depășesc anumite valori prestabilite.

Astfel de amortizoare automate au fost aplicate și la noi în țară, la Bacău, pentru stabilizarea acoperișului suspendat al bazinului olimpic de înot. Instalația automată denumită *REF* are, în acest caz, 6 ventilatoare silențioase, comandate automat.

6. Probleme de monitorizare a comportării în situ a structurilor ușoare existente, acționate de vânturi severe și explozii în aer

Monitorizarea comportării în situ a structurilor ușoare existente, proiectate după coduri care nu specificau măsuri privind preluarea unor încărcări din vânturi severe și unde costurile pentru reabilitarea structurală ar fi deosebit de mari, apare ca o necesitate importantă, [11], [12], [13].

Prin monitorizare se propune compensarea deficiențelor teoretice și metodologice privind robustețea implementată la structurile ușoare complexe atât în privința unor degradări locale cât și în ceea ce privește propagarea acestora la nivel global.

Monitorizarea comportării în situ se recomandă și pentru structurile ușoare noi cu dimensiuni mari în plan și elevație cu scopul de a compara valorile de răspuns structural, din acțiuni curente și severe înregistrate, cu valorile de răspuns efectiv considerate la faza de proiectare.

Conceptul de monitorizare diferă fundamental față de conceptele de urmărire curentă și specială prevazute în codul național P133-99 și în coduri asemănătoare existente internațional.

Monitorizarea comportării în situ trebuie să fie capabilă să surprindă, cu costuri acceptabile, următoarele aspecte:

- nivelul încărcărilor din vânt și din explozii în aer,
- existența și apariția unor discontinuități structurale (goluri, crăpături, fisuri, rosturi deschise sau partial deschise, ruperi și chiar avarii la rosturile constructive, care în anumite condiții de propagare catastrofică a discontinuității pot conduce la cedare sau colaps structural).

Aici se face observația că viteza de propagare a fisurilor este în funcție de tipul de material structural, de defectele interne existente (microfisuri, neomogenități, incluziuni de diverse materiale etc.) și de existența microdefectelor (fracturi, goluri, rosturi etc.).

Parametrii comportării dinamice, care se monitorizează, sunt deplasări, viteze, accelerații și variația în timp a deformațiilor specifice. În timpul monitorizării, pe lângă urmărirea modificării amplitudinilor acestor mărimi, se urmărește și frecvența precum și defazajul acestora.

Alegerea modelului, a mărimilor ce se monitorizează, precum și interpretarea rezultatelor constituie fazele cele mai grele ale unei monitorizări structurale.

Metodele de monitorizare a comportării în situ recomandate pentru structuri ușoare sunt:

- Pentru deformații specifice se poate utiliza metoda lacurilor casante, metoda acoperirilor fotoelastice și tensometria (electrică, mecanică, cu coarda vibrantă).

- Pentru monitorizarea geometriei în general și a coordonatelor primare cea mai indicată este utilizarea fotogrametriei (fotосcanere, camere CCD).

7. Concluzii

- Aspectele semnalate în lucrare permit controlul răspunsului structural și asigurarea stabilității structurilor ușoare acționate de vânturi severe și explozii în aer. Sunt prezentate concepte de alcătuire și de alegere a geometriei structurii, în vederea obținerii unei fracționări energetice corespunzătoare.

- În cazul structurilor existente nivelul robusteții structurale se poate stabili numai pe baza analizei unor scenarii de avarii și luând în considerare vulnerabilitatea și gradul de degradare ale acestora.

- Dacă se constată deficiențe majore pentru structurile ușoare mari existente, a căror eliminare presupune costuri exagerate și suspendarea funcționării construcției, se recomandă introducerea monitorizării permanente sau periodice.

- Problemele tratate ajută la fundamentarea codurilor de proiectare, în curs de elaborare, privind asigurarea comportării sigure în situ a structurilor ușoare supuse unor acțiuni extreme, neașteptate.

Referințe

- [1] D. Ghiocel, D. Lungu, „Wind, Snow and Temperature Effects on Structures, Based on Probability”, Abacus Press, Tunbridge Wells, Kent, U.K., 1985.
- [2] E. Simiu, R.H. Scanlan, „Wind Effects on Structures”, John Wiley & Sons, 1986.
- [3] E. Allen, J. Iano, „Fundamentals of Building Constructions – materials and methods”, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.
- [4] M. Bechthold, „Innovative Surface Structures: Technologies and Applications”, Taylor & Francis, Abington, Oxon, New York, 2008.
- [5] A. Deplazes, „Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures”, Birkhauser, Basel, 2005.
- [6] A. Zannos, „Form and Structure in Architecture: The Role of Statical Function”, Van Nostrand Reinhold Book, New York, 1987.
- [7] E. Torroja, „Philosophy of Structures”, University of California Press, Los Angeles, 1967.
- [8] L. Kopenetz, Al. Cătărig, „Teoria structurilor ușoare cu cabluri și membrane”, Editura UT PRES, Cluj-Napoca, 2006.
- [9] Al. Cătărig, L. Kopenetz, „Time surveyance and in situ testing by Dynamic Methods of Steel Structures”, A VI-a Conferință de Construcții metalice, Vol.3, Timișoara, pg.259-266, 1991.
- [10] L.T. Lee, J.D. Collins, „Engineering Risk Management for Structures”. Journal of the Structural Division, ASCE 103, No.ST9, pg.1739-1756, 1977.
- [11] D.O. Dusenberry, „Practical Means for Collapse Prevention”, NISTIR7396 Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings, U.S. Department of Commerce, Washington D.C., 2006.
- [12] J. Feld, K. Carper, „Construction Failure”, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, NY, 1997.
- [13] D. Kaminetzky, „Design and Construction Failures”, McGraw-Hill Inc., New York, NY, 1991.