

”CONTRIBUȚII PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA ROBUSTEȚII STRUCTURILOR ÎN PROIECTAREA ȘI REABILITAREA CONSTRUCȚIILOR”,

Rolul extrem de important pe care îl asigură robustețea în proiectarea structurală justifică pe deplin interesul pe care inginerii constructori îl manifestă asupra măsurilor care se impun a fi luate în vederea realizării unor sisteme structurale robuste cu o siguranță sporită în exploatare. Conștientizarea importanței robusteții structurilor s-a intensificat treptat de-a lungul anilor datorită experiențelor legate de unele cedări structurale și chiar colapsul unei clădiri precum cea de la Ronan Point din 1968, Anglia și după prăbușirea turnurilor gemene de la World Trade Center din 2001. Evenimentele recente provocate de actele de terorism au accentuat necesitatea elaborării urgente a unor măsuri care să asigure integritatea structurală. Aceste evenimente au avut loc într-un moment în care se consideră că prevederile din normative referitoare la colapsul disproporționat sunt adecvate, dar dezastrele care s-au produs au dezvăluit faptul că robustețea nu este luată în considerare în calculul structurilor. Singurele prevederi palpabile sunt legate de creșterea coeficienților de siguranță ai încărcărilor, care ar trebui să substituie o multitudine de cauze reale în generarea unui sistem sigur în exploatare. Robustețea structurală este deocamdată un subiect controversat și care presupune dificultăți în ceea ce privește modul său de interpretare precum și dificultăți de reglementare a acesteia.

Teza este structurată pe 6 capitole, subiectul tratat fiind complex și implică importante cunoștințe teoretice și practice din domeniul.

Capitolul 1, introductiv, prezintă argumentele ce au condus la necesitatea studierii noțiunii de robustețe fiind enunțate deasemenea conținutul și obiectivele tezei de doctorat. În cadrul proiectării structurilor robuste, s-a constatat faptul că este deosebit de important să se studieze efectele acțiunilor asupra întregului sistem structural. Criteriile de proiectare prevăzute în normative sunt direcționate, în primul rând, pe calculul elementelor sau a subsistemelor individuale ale unui sistem complex.

Noțiunea de robustețe este în general acoperită de 2 Eurocoduri:

1. EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design ce prevede principii pentru atingerea robusteții și

2. EN 1991-1-7 Eurocode 1: Part 1-7 Accidental Actions ce face referiri la încărcările ce trebuie luate în considerare la proiectarea unei structuri. CR 0-2005 - Basis of Structural Design este versiunea în limba română a EN 1990-2002 adoptând astfel aceleași principii de înțelegere, evaluare și îmbunătățire a robusteții structurilor. În concordanță cu acest normativ o structură trebuie să fie proiectată și executată în așa manieră încât pe toată durata de viață să satisfacă următoarele cerințe de bază: rezistență structurală, durabilitate, fiabilitate.

Capitolul 2 intitulat “**Riscuri în ingineria civilă**” prezintă aspecte importante cu privire la noțiunea de risc în ingineria civilă, fiind identificate metode de acceptare și management al riscului.

Performanța și robustețea unei structuri este afectată de numeroase incertitudini în solicitările sistemului, în caracteristicile materialelor de construcții și în cerințele de performanță cerute de generația actuală de norme și programe de proiectare. Unele dintre aceste incertitudini sunt inerente în mod obișnuit în modelare și analiză; acestea ar include rezistența materialelor, încărcări climatice sau acțiuni neprevăzute.

Alte incertitudini provin din limitări în modelare și baze de date insuficiente. Niciun sistem structural nu poate fi proiectat și construit fără o sursă de risc. Managementul riscului implică adesea alegeri dificile, unde investițiile în vederea reducerii riscurilor trebuie să fie echilibrate, pentru a rezista competiției. Publicul de multe ori nu reușește să înțeleagă compromisurile implicate și se așteaptă ca un sistem structural să fie realizat, în esență, fără riscuri. Dezastrele naturale recente au scos în evidență deficiențe în abordările socio-politice de management a riscurilor, dar se pare că nu s-au luat măsuri suplimentare pentru reducerea acestora.

Principiile de siguranță structurală și de evaluare probabilistică a riscurilor, corect prezentate, oferă perspectiva că pot fi atinse măsurile fezabile și corecte din punct de vedere tehnic și social pentru reducerea riscului de cedare disproporționată. Pentru a înțelege cum percepe publicul informațiile privind riscul, contextul în care strategiile de reducere a riscurilor ar putea fi acceptate și aplicate, este necesar să se introducă unele concepte fundamentale ale analizei și evaluării riscului. Toate aceste aspecte nu pot fi deocamdată luate în calcul, conform normativelor aflate în vigoare la ora actuală. În acest subcapitol sunt definiți și analizați cei mai importanți termeni ce țin de siguranță structurală.

În **capitolul 3** intitulat “**Cauzele cedării structurale**” sunt identificate principalele cauze ale avariilor în construcții. Acțiunile extreme pot apărea în mod natural, de exemplu, vântul extrem, zăpadă, inundații și cutremure, sau pot fi accidentale (sau premeditate de om), de exemplu, impactul unui vehicul sau explozia. Proiectarea structurală la sarcini normale de serviciu oferă rezistență la evenimente extreme produse în mod natural, prin luarea în considerare a unor valorilor ridicate ale acțiunilor cauzate de vânt, ninsoare, trafic, etc.

Proiectarea unei structuri, rezistența și ductilitatea elementelor structurale și a legăturilor dintre ele la sarcinile normale de încărcare, de obicei asigură unele capacități ale structurii pentru a rezista accidentelor și pentru a limita daunele, ca urmare a unui eveniment accidental. Cu toate acestea, această capacitate ar putea fi insuficientă pentru a limita daunele, deoarece nu este proporțională în raport cu cauza. În aceste cazuri, sunt necesare prevederi și reglementări pentru limitarea acestora.

De obicei unele pericole imprevizibile nu sunt luate în considerare, de exemplu prăbușirea unei aeronave peste clădiri mici, în general, nu este luată în considerare în proiectare, deoarece probabilitatea de apariție este extrem de scăzută și, în orice caz, proiectarea unei clădiri mici pentru a limita daunele structurale în aceste circumstanțe ar fi exagerat de scumpă.

Daunele ce pot surveni ca urmare a unui eveniment accidental pot fi de trei tipuri:

- ✓ pierderi de vieți omenești (sau leziuni) cauzate de eveniment,
- ✓ deteriorarea structurii și
- ✓ daunele indirecte la activitățile susținute de structură.

În general, proiectare structurală urmărește atât protejarea vieții cât și minimizarea deteriorării structurii, minimizând și daunele indirecte; acest lucru nu se întâmplă însă tot timpul.

Siguranța structurilor depinde de o mulțime de factori, cum ar fi tipul clădirii, gradul de evaluare al materialelor antiinceniu, detaliile de construcție, durabilitatea, probabilitatea de avarie a elementelor structurale și a legăturilor, metodele de inspecție pentru controlul calității.

Cedarea structurală nu înseamnă întotdeauna colaps însă împiedică funcționarea corespunzătoare a structurii, lucru la fel de grav ca și un colaps. Colapsul sau fisurile în structură apar atunci când un element sau conexiune cedează prin alunecare (forfecare), clivaj (tensiune), flambaj sau strivire. Colapsul total poate apărea datorită unei explozii severe sau impact sau ca rezultat al uzurii după un număr de eforturi alternante, sau după flambajul elementelor principale. Distorsiunea excesivă poate apărea în condițiile susținute de supraîncărcare extremă sau în urma unui impact moderat.

Experiența și aprecierea, ce joacă astfel un rol important în proiectarea structurală, primesc puțină atenție în literatura tehnică; proiectantul trebuie să învețe din lecțiile eșecurilor trecute. Din păcate, literatura de specialitate cu privire la cedările structurale din trecut este extrem de rară. Este de înțeles că oamenii nu doresc să discute greșelile lor.

Mai întâi de toate, aceste informații oferă o privire de ansamblu asupra siguranței și fiabilității unor structuri precum și asupra activităților efectuate în conformitate cu normele structurale prezente sau din trecut și care oferă indicații la modul în care aceste lucruri ar putea fi îmbunătățite. În plus, dacă sunt studiate cu atenție, aceste informații pot furniza o modalitate de înțelegere a scenariilor de risc importante pentru diferitele tipuri de structuri precum și posibilele pericole.

În **capitolul 4** intitulat “**Robustețea structurilor**” este sintetizată metodologia de evaluare a robusteții unui sistem structural luând în considerare criteriile de performanță pe care trebuie să le îndeplinească sistemul structural în funcție de situațiile de încărcare la care poate fi expus. Sunt trecute în revistă deasemenea prevederile normativelor de proiectare cu referire la această noțiune, fiind prezentat stadiul actual al cunoașterii în acest domeniu. Pentru o bună înțelegere a noțiunii de robustețe, toate codurile de proiectare ar trebui să aibă un ”limbaj comun” în ceea ce privește termenii asociați acestei noțiuni: colaps, erori umane, integritate structurală, defecte, clase de consecințe. Anexa acestei tezei va cuprinde un număr de noțiuni legate de robustețe. Putem spune despre un sistem structural că nu este scump, că e puternic, că este estetic, că are un design impunător, că este sigur: majoritatea oamenilor vor înțelege aceste noțiuni. Însă dacă precizăm că un sistem este robust, există riscul ca oamenii să perceapă în mod diferit acest termen.

În dicționarul Oxford, *robust* înseamnă *viguros, puternic, rezistent, solid, tare*.

Robustețea este una din noțiunile fundamentale ale ingineriei civile, fiind folosită frecvent în codurile de proiectare în vigoare și în literatura tehnică de specialitate fiind o cerință necesară unei bune proiectări structurale. Robustețea nu trebuie înțeleasă ca o supradimensionare a elementelor ci ca o capacitate a sistemului de a se adapta fără degradări la acțiunile curente și cu deficiențe minime la cele extraordinare, dar fără a se produce colapsul și bineînțeles fără a fi limitată la anumite circumstanțe.

Dintr-un total de 3192 poduri existente în rețeaua de drumuri naționale, doar 3% din numărul total (respectiv 83 de poduri) sunt metalice. Mare parte din aceste poduri metalice sunt construite la începutul secolului XX, având o valoare istorică și artistică deosebită unele fiind adevărate monumente ale tehnicii construcțiilor. Aspectul lor este deosebit, integrându-se armonios în peisaj.

La ora actuală tendința pe plan internațional constă în a menține în exploatare, în condiții de siguranță, a structurilor existente. În acest scop sunt necesare informații despre durata de viață și istoricul privind solicitarea podului în cauză.

În partea vestică a țării există și la ora actuală un număr mare de poduri de șosea construite la sfârșitul secolului XIX și începutul secolului XX, poduri cu un aspect estetic deosebit surprinzând prin eleganță și zveltețe. Structurile încă rezistă în condiții bune, cu toate că mentenanța este în multe cazuri deficitară înregistrându-se numeroase defecte, loviri, elemente rupte, degradate și corodate unele dintre ele caracterizându-se prin lipsa totală a oricărei documentații. Un număr mare de poduri sunt amplasate în orașe fiind emblematice pentru zona respectivă. Odată reabilite pot fi, deasemenea, integrate în patrimoniul orașului.

În **capitolul 5** intitulat “**Robustețea podului de la Săvârșin**” s-a efectuat modelarea structurală a podului de la Săvârșin, în vederea aprecierii robusteții acestuia în diferite situații de avarie. Cîteva din rezultatele comparative obținute în urma analizelor numerice efectuate în cazul celor 2 situații abordate, pod neconsolidat și pod consolidat, au fost prezentate în capitolul 5 sub forma unor grafice ce prezintă evoluția eforturilor în elementele componente relevante.

În total au rezultat 6 analize structurale. În continuare, având în vedere volumul ridicat de date de prelucrat și interpretat, s-a optat pentru prezentarea sintetică a rezultatelor comparative corespunzătoare acestor studii considerate în textul anterior.

Pentru elementele relevante ale podului, proiectat după un concept de siguranță determinist, se poate aprecia nivelul de siguranță utilizând metode probabilistice prin determinarea probabilităților de cedare utilizând modelul de calcul bivariat prezentat în capitolul 3.

S-au determinat probabilitățile de cedare ale antretoazei și ale barelor grinzii cu zăbrele pentru toate cazurile analizate, acceptând valori cuprinse între 0,1 și 0,4 ale coeficientului de variație a încărcărilor utile precum și un coeficient de siguranță central $\gamma = 2,50$, din literatură. Aceste valori apreciază nivelul de siguranță al antretoazei în situația de încărcare dată precizându-se încă de la început absența unor informații legate de istoricul de solicitare.

Din literatura de specialitate pentru oțelul din tablierele construite pînă în 1910, în urma cercetărilor experimentale, s-a determinat valoarea coeficientului de variație a rezistențelor $V_{Re} = 0,153$.

Deasemenea valoarea V_G se consideră ca fiind 0 și $\alpha = 0,75$.

Capitolul 6 încheie prezenta teză prin formularea concluziilor, prezentarea contribuțiilor autorului și modul de valorificare a rezultatelor obținute în cadrul cercetării. În lucrare s-au propus spre analiză 3 scenarii posibile de avarie luând în considerare și instituirea unor măsuri locale eficiente necesare pentru prevenirea cedării.

În cazul podului consolidat, grinda principală fiind cel mai important element structural, a confirmat o foarte bună comportare inclusiv în cazul scenariilor de avarie. Eforturile unitare, cu unele excepții în cazul 1 și 2 de avarie, s-au încadrat sub valoarea rezistenței admisibile.

Compararea eforturilor unitare și ale săgeților măsurate “in situ” cu cele rezultate în urma analizelor dovedește o bună calibrare a modelului.

Eforturile în componentele principale ale podului, indiferent de scenariul de avarie, sunt vizibil reduse comparativ cu situația neconsolidată valiînd încă o dată soluția aleasă pentru consolidare.

În cazul 3 de avarie în ciuda faptului că eforturile secționale și unitare sunt vizibil mai mici, fiind situații în care se suprapun ca și valoare peste eforturile din structura consolidată, neavariată, printr-o

verificare a stabilității generale a tălpii superioare, se observă că robustețea podului nu este satisfăcută, structura fiind sensibilă la acest caz de avarie.

În ceea ce privește primele 2 scenarii de avarie se poate afirma că se înregistrează o comportare, în ansamblu, satisfăcătoare comparativ cu structura consolidată, fiind evident că în aceste cazuri nu este posibilă cedarea structurii; în concluzie structura este robustă pentru aceste 2 scenarii.

S-au determinat probabilitățile de cedare ale antretoazei și ale barelor grinzii cu zăbrele pentru toate cazurile analizate, observându-se o scădere a probabilității de cedare a antretoazei datorită dalei de beton în conlucrare cu structura metalică, chiar și în situațiile de avarie considerate, comparativ cu situația neconsolidată.

Absența unor informații legate de istoricul de solicitare, respectiv date necesare despre caracteristici de material cât și prezenta unor defecte structurale conduc la necesitatea unor studii amănunțite care să aibă drept rezultat determinarea cât mai exactă a nivelului de siguranță.

Bibliografia tezei este bogată și bine aleasă conținând un număr de 94 cărți tehnice, normative, lucrări și studii de referință pe plan național cât mai ales internațional.