

Aspecte caracteristice privind analiza structurală a clădirii de birouri Bucharest One

General considerations regarding the structural analysis of the office building Bucharest One

Claudiu-Anton URSU¹, Viorel POPA¹, Mihai DRAGOMIR¹, Dragoș COȚOFANĂ¹, Șerban DIMA¹, Vasile-Virgil OPRIȘOREANU¹

¹SC Allied Engineers Grup SRL
Str. Teheran, nr. 2, etaj 4, sector 1, București, Romania
office@alliedengineers.ro

Rezumat: *Articolul prezintă metodele de analiza utilizate la proiectarea clădirii de birouri Bucharest One. Clădirea are o înălțime supraterană de 120m fiind formată din trei subsoluri, parter, mezanin, 23 etaje și etaj tehnic. Construcția este amplasată în București, strada Barbu Văcărescu nr. 201, fiind formată din două corpuri cu funcțiuni diferite. La proiectarea și verificarea structurii de rezistență s-au folosit metode avansate de calcul structural utilizând programe specializate cu elemente finite. Modelele de calcul includ atât suprastructura cât și infrastructura, cu considerarea întrecțiunii teren-structură. Datorită înălțimii construcției, formei în plan a acesteia și clasei de importanță în care se încadrează s-au utilizat metode de calcul elastic și inelastic (calcul static neliniar și calcul dinamic neliniar). Analizele efectuate s-au realizat cu ajutorul programelor de calcul Etabs 2013 și Perform 3D. Verificarea deplasărilor laterale și dimensionarea preliminară a elementelor suprastructurii s-a realizat pe baza unui calcul elastic, prin utilizarea metodei de calcul modal cu spectre de raspuns. Evaluarea performanței structurale și stabilirea eforturilor maxime la nivelul infrastructurii s-a realizat pe baza analizelor static și dinamic neliniare.*

Cuvinte cheie: structură înaltă, analize neliniare, model de calcul, performanță structurală

Abstract: *The document presents the analysis methods applied in the structural design of the office building Bucharest One. The tower has a total height of 120 m above ground, three basements levels, ground floor, mezzanine, 23 floors above and one technical floor. It is located in Bucharest on Barbu Văcărescu Street no. 201 and consists of two buildings with different functions. Advanced analysis techniques employing finite element specific software were considered in the structural design. The computation models include both the upper structure and the basement, taking into consideration the soil-structure interaction. Considering the height of the building, its shape and the importance class, elastic and inelastic computations were performed (static and dynamic nonlinear analysis). The analysis was done using Etabs 2013 and Perform 3D software. The verification of the lateral displacements and the dimensioning of the structural elements were performed by elastic response-spectrum modal analysis. The assessment of the*

structural performance and the maximum forces in the infrastructure were carried out by static and dynamic nonlinear analysis.

Key words: high rise building, nonlinear analysis, computation model, structural performance

1. Introducere

Articolul cuprinde principalele aspecte ale analizelor efectuate pentru proiectarea și evaluarea performanței structurale a clădirii Bucharest One, amplasată în municipiul București. Structura clădirii Bucharest One ce a fost proiectată de către SC Allied Engineers Grup SRL pentru fondul de investiții Globalworth. Clădirea are înălțimea supraterană de 120 m, având în componență trei subsoluri și 26 de niveluri supraterane. Forma în plan a suprastructurii corpului A este de trapez dreptunghic cu o suprafață desfășurată de 1860 mp la nivelurile curente. Clasa de importanță/expunere a construcției este clasa II, pentru care coeficientul de importanță este $\gamma=1,2$.

Structura principală de rezistență a construcției este alcătuită din doua nuclee de pereți de beton cuplați, care preiau predominant forțele tăietoare cauzate de forțele seismice orizontale, și cadre perimetrice de beton care preiau parțial momentul global de răsturnare cauzat de acțiunea seismică. Cadrele sunt alcătuite din stâlpi circulari, de beton armat sau compoziți oțel-beton, și grinzi dreptunghiulare care conlucrează cu placa. Planșeul este realizat din plăci turnate monolit pe grinzi secundare prefabricate. Grinzile secundare sunt dispuse „radial” și reazemă pe pereții nucleelor și pe grinzile cadrelor perimetrice. Infrastructura este realizată sub forma unei cutii rigide, prin comparație cu suprastructura, alcătuită din planșee de beton fără grinzi, pereți de beton perimetrali și radier. Radierul are grosime variabilă și este rezemat pe piloți de beton și pe pereți mulați perimetrali. O descriere pe larg a structurii a fost făcută de către autorii acestei lucrări și în revista AICPS Review nr. 1-2/2015 [1].

Structura amplasată în București este expusă la acțiuni din hazard natural cauzate de vânt și cutremur. Analizele efectuate în cadrul procesului de proiectare au arătat că acțiunea seismică este acțiunea orizontală predominantă care dimensionează structura verticală a clădirii.

La proiectarea structurii au fost aplicate prevederile date în codurile românești de proiectare P100-1/2006 [2] și CR2-1-1.1 [3]. Totuși, întrucât aceste coduri nu sunt în mod specific destinate proiectării clădirilor înalte, la efectuarea calculului structural s-au analizat și informațiile din alte documente tehnice de specialitate de pe plan mondial, [4], [5], [6].

2. Strategia de calcul structural

La proiectarea structurilor pentru clădiri se pot utiliza diferite strategii de modelare, în funcție de complexitatea structurii, de modul de interacțiune cu terenul sau de natura acțiunii predominante. Analiza prin metoda elementului finit a structurilor înalte pe modele încastrate la „cota 0”, cota plăcii de la parter, prezintă un

grad de aproximare prea ridicat și este nepotrivită mai ales în cazul structurilor organizate sub forma unor nuclee „concentrate” cu rigiditate și rezistență foarte mare. În această situație, ipoteza că toate elementele verticale sunt egal încastrate deasupra subsolului are un grad de aproximare prea ridicat și conduce la rezultate eronate. Pentru clădiri înalte, Comitetul pentru Clădiri Înalte din Los Angeles (LATBSDC) recomandă utilizarea modelelor încastrate la cota inferioară a radierului pentru verificări la Starea Limită de Serviciu [6]. La această stare limită, deformațiile terenului nu sunt așa de importante astfel că încastrarea la cota radierului poate constitui o soluție. Analizele efectuate de autori în proiectarea clădirii Bucharest One au arătat că pentru sistemul structural ales, deformațiile infrastructurii sunt importante și starea de eforturi din suprastructură se schimbă în funcție de soluția de modelare a rezemării pe teren. De aceea, în proiectarea structurii s-a utilizat un model complet supra-infrastructură în care radierul este rezemat prin intermediul unor resoarte care modelează rigiditatea terenului. Acest model este recomandat de LATBSDC pentru verificări la stări limită ultime. Dezavantajul acestei modelări constă în necesitatea unei puteri de calcul considerabile și durata relativ lungă a unei analize. Întrucât procesul de proiectare este un proces iterativ, durata lungă a unei singure analize poate să reducă numărul de analize care se pot efectua pentru calibrarea modelului și, în final, se poate ajunge la rezultate mai puțin precise în ciuda modelului mai sofisticat utilizat. După cum se va vedea în continuare, în funcție de tipul calculului efectuat structura a fost modelată având comportare liniară sau neliniară. Pentru analizele efectuate s-au utilizate programele de calcul Etabs 2013 [7] și Perform 3D [8]. În privința duratei unei analize, pe modelul structural neliniar cu rezemare pe resoarte neliniare (cu desprindere), calculul static neliniar într-o singură direcție dura între 2 ore și 7 ore în funcție de soluția software utilizată. Utilizarea unei strategii de modelare complexe în care suprastructura, infrastructura și terenul, având diferite straturi, sunt modelate ca atare prin elemente finite cu răspuns neliniar nu este fezabilă în procesul de proiectare din cauza puterii de calcul insuficiente disponibile în ziua de astăzi.

P100-1/2006 are prevederi privind metode de calcul structural de complexități diferite. Cea mai simplă dintre metode, metoda forțelor laterale static echivalente, în care acțiunea seismică este modelată prin intermediul unor forțe aplicate static iar structura este modelată liniar, este metoda cea mai utilizată în proiectarea seismică din România. Pentru structuri înalte, utilizarea metodei de calcul modal cu spectre de răspuns poate spori acuratețea calculului chiar dacă structura se modelează liniar. Totuși, pentru structuri cu răspuns neliniar complex, cum este și structura Bucharest One, trebuie utilizate metode de calcul de complexitate superioară în măsură să ofere o imagine mai bună a răspunsului structurii în domeniul neliniar.

Proiectarea clădirii Bucharest One pentru un răspuns elastic la acțiunea cutremurului de proiectare nu constituie o alternativă, nu numai din cauza costurilor de realizare a structurii, dar și din cauza dificultăților de rezemare pe teren a unei structuri cu rezistența laterală foarte înaltă și a imposibilității prevenirii ruperilor fragile în condițiile în care nivelul de rezistență nu este limitat pe un mecanism ductil de cedare.

În concluzie, structura clădirii Bucharest One a fost calculată utilizând modele spațiale complete infra-suprastructură, de diferite complexități, astfel:

- 1) model liniar cu aplicarea metodei de calcul modal cu spectre de răspuns pentru predimensionarea pe criterii de rezistență a elementelor structurale și verificarea preliminară a rigidității structurii la Starea Limită de Serviciu;
- 2) model neliniar și forțe orizontale aplicate static monoton crescătoare pentru determinarea curbei de capacitate forță deplasare și pentru determinarea eforturilor în elementele structurale în faza de mecanism de plastificare;
- 3) model neliniar și forțe orizontale aplicate dinamic, prin intermediul accelerațiilor de la baza construcției, pentru determinarea deplasărilor structurale la starea limită ultimă și verificarea deformațiilor elementelor structurale sub acțiunea cutremurului de proiectare;
- 4) model liniar și forțe orizontale aplicate dinamic pentru verificarea deplasărilor la Starea Limită de Serviciu.

Cele patru strategii de calcul nu oferă întotdeauna aceleași rezultate. În cadrul altor structuri proiectate de autorii acestui articol, calculul dinamic neliniar a condus la cele mai ridicate valori ale forțelor tăietoare în elementele structurale verticale, arătând că distribuția dreptunghiulară a forțelor orizontale în calculul static neliniar nu este întotdeauna acoperitoare în ceea ce privește forța tăietoare. Rezultă că nu se poate considera aprioric că metodele de calcul de complexitate inferioară sunt întotdeauna mai acoperitoare.

Analizele dinamice neliniare au fost utile în proiectarea structurii deoarece au oferit valorile parametrilor de bază care caracterizează răspunsul acesteia în termeni de deplasări relative, accelerații absolute, deformații în elemente cu comportare ductilă, forțe maxime în elementele cu cedare fragilă și energii disipate în elementele structurale, la fiecare moment de timp discret al acțiunii seismice.

3. Cerințe de performanță

La proiectarea structurii Bucharest One au fost considerate cerințele fundamentale de performanță date în P100-1/2006, capitolul 2. Sintetic, aceste cerințe se referă la siguranța vieții utilizatorilor la acțiunea cutremurului de proiectare și limitarea degradărilor la acțiunea cutremurului de serviciu. Conform prevederilor acestui cod, construcția se încadrează în clasa II de importanță, pentru care coeficientul de importanță care amplifică acțiunea seismică de proiectare este egal cu 1,2. Întrucât prin proiectarea structurii s-a obținut un coeficient de suprazistență la acțiuni laterale în comparație cu acțiunea seismică de proiectare aproximativ egal cu 1,8, structura respectă condițiile de rezistență și pentru un coeficient $\gamma_I=1,4$ care ar corespunde încadrării construcției în clasa I de importanță.

Structura a fost proiectată astfel încât să răspundă neliniar sub acțiunea seismică de proiectare. Deformațiile neliniare semnificative din încovoiere pot apărea în elementele structurale ale suprastructurii: pereți de beton armat (pe înălțimea parterului, mezaninului și etajului 1), grinzi de cuplare și grinzi de cadru (la toate nivelurile), stâlpi (la baza la pater). Prin deformarea neliniară din încovoiere a elementelor structurale se obține disiparea energiei induse de acțiunea seismică și se limitează eforturile care ar putea conduce la cedări fragile ale elementelor structurale.

Din cauza deformațiilor neliniare severe care pot apărea în unele elemente structurale (în special în riglele de cuplare care leagă între ei pereții nucleelor de beton armat) este posibil ca în urma incidenței cutremurului de proiectare (având interval mediu de recurență de 100 de ani) să fie necesare reparații locale ale elementelor de beton armat. Acest lucru nu constituie un defect structural fiind în concordanță cu cerințele fundamentale ale proiectării seismice enunțate în cap. 2 al codului P100-1.

4. Calculul static liniar

Verificarea deplasărilor laterale și predimensionarea elementelor suprastructurale s-a realizat pe baza unui calcul static liniar, prin utilizarea metodei de calcul modal cu spectre de răspuns. Acțiunea seismică a fost reprezentată de spectrul de răspuns corespunzător mișcărilor de translație unidirecționale ale terenului, pentru amplasamentul orașului București, conform codului P100-1/2006.

Orientarea direcțiilor principale (X și Y) pentru definirea acțiunii seismice s-au determinat în funcție de răspunsul modal al structurii, prin factorii de participare modali, astfel încât acești factori să fie nenuli numai pentru o singură direcție. Primele două moduri de vibrație ale structurii sunt predominant de translație, iar cel de-al treilea predominant de torsiune. În figurile 1 și 2 sunt reprezentate formele proprii de vibrație asociate primelor două moduri de translație.



Fig. 1. Forma proprie de vibrație asociată modului 1- translație pe direcția X (T=3,33sec)



Fig. 2. Forma proprie de vibrație asociată modului 2- translație pe direcția Y (T=2,73sec)

În calcul modal cu spectre de răspuns s-au considerat primele 20 de moduri de vibrație, pentru care suma maselor modale efective reprezintă aproximativ 97% din masa totală a structurii. Considerând modurile de vibrație independente, regula de combinare utilizată a fost SRSS, conform P100-1/2006, Anexa C. Factorul de amplificare dinamică $\beta(t)$ corespunzător spectrului normalizat de răspuns elastic în accelerații absolute a fost limitat inferior la valoarea 1. Forțele tăietoare maxime la nivelul cotei de încastrare au valorile de 42226 KN pe direcția X, respectiv 51588 KN

Dragoș Coțofană, Șerban Dima, Mihai Dragomir, Viorel Popa, Stelian Constantinescu
pe direcția Y de acțiune seismică. Greutatea suprastructurii în gruparea seismică de acțiuni este de aproximativ 760000 KN.

5. Calculul static neliniar

Pentru calculul neliniar modelul de analiză elastic a fost completat prin introducerea parametrilor de comportare post-elastică (eforturi capabile, deformații ultime, legi constitutive pentru materiale) pentru elementele structurale. Pereții s-au modelat cu elemente neliniare de suprafața la care secțiunea peretelui este împărțită în straturi, în cazul utilizării programului Etabs 2013, și cu elemente de suprafață tip fibră, în cadrul programului Perform 3D. Pereții au o comportare neliniară la încovoiere și liniară la forță tăietoare. Neliniaritatea elementelor ce modelează pereți s-a definit la nivel de material prin legile constitutive pentru oțel și beton. În analizele neliniare s-au considerat rezistențele medii ale materialelor. Grinzile, stâlpii și riglele de cuplare s-au modelat cu elemente de tip bară având articulații plastice punctuale de moment sau moment încovoietor cu forță axială (în cazul stâlpilor) amplasate la capetele elementului. Pentru riglele de cuplare armate cu carcase înclinate s-au utilizat articulații de moment, barele înclinate preluând atât momentul încovoietor cât și forța tăietoare.

Acțiunea seismică a fost reprezentată de 7 accelerograme, compatibile cu spectrul de proiectare din amplasament, conform P100-1/2006. Un avantaj important în utilizarea accelerogramelor compatibilizate cu un spectru țintă îl reprezintă reducerea variabilității input-ului, care va reduce variabilitatea mărimilor de răspuns. Utilizarea de 7 accelerograme compatibile cu spectrul de răspuns elastic permite ca, în cadrul verificărilor, să se utilizeze media valorilor de răspuns. Accelerogramele definite sunt compatibile cu spectrul de proiectare pe tot intervalul de perioade semnificativ, utilizat în proiectarea structurilor curente. În realitate nu există mișcări seismice de acest tip, însă acestea sunt acoperitoare la evaluarea răspunsului în cadrul analizelor numerice efectuate.

Calculul static neliniar a servit la determinarea curbei de capacitate, forță-deplasare, pentru structură și determinarea cerinței de deplasare asociată cutremurului de proiectare din amplasament. Relația forță-deplasare a pus în evidență evoluția mecanismului de plastificare a structurii, valorile maxime ale eforturilor în elementele structurale și distribuția degradărilor în cadrul structurii, pe măsura creșterii forțelor laterale, în timp ce acțiunile gravitaționale au rămas constante. Eforturile maxime la nivelul elementelor infrastructurii, dimensionate elastic sub incidența cutremurului de proiectare, au fost determinate pe baza analizelor static neliniare. Acțiunea seismică a fost modelată prin intermediul a doua distribuții pe înălțime a forțelor laterale statice (o distribuție uniformă, pentru obținerea valorilor maxime ale forțelor tăietoare și o distribuție modală, corespunzătoare modului fundamental de translație, pentru obținerea momentului global de răsturnare maxim). Cerințele de deplasare s-au obținut pe baza metodei descrisă în P100-1/2006, Anexa D.

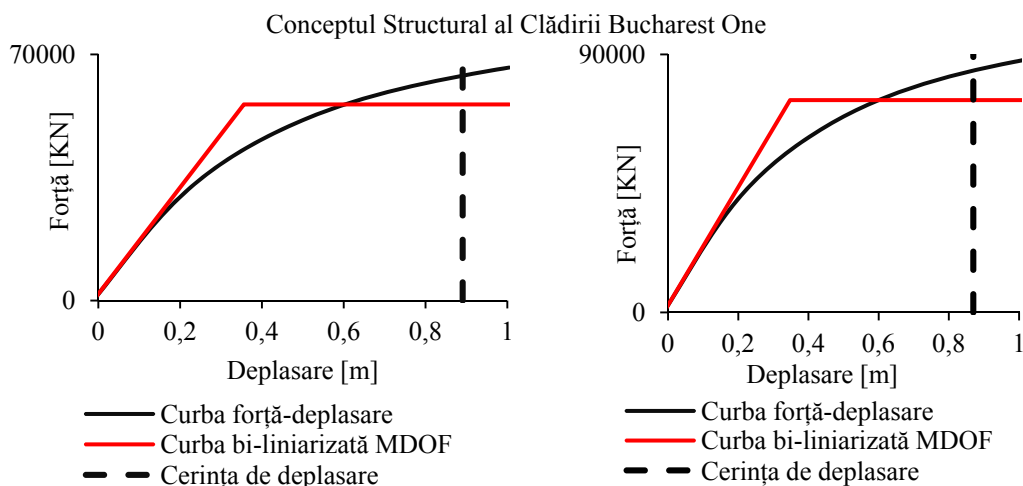


Fig. 3: Curba F-D, bi-liniarizarea curbei F-d și cerința de deplasare corespunzătoare direcției X- distribuție triunghiulară (stânga) și distribuție dreptunghiulară (dreapta)

În figura 3 sunt prezentate curbele de capacitate, bi-liniarizarea acestora, și cerințele de deplasare corespunzătoare direcției X de rezistență, în sensul pozitiv al axelor pentru cele două distribuții de forțe (distribuția uniformă – dreptunghiulară și distribuția modală- triunghiulară). Cerințele de deplasare rezultate în urma medierii valorilor obținute pentru fiecare accelerogramă se situează în jurul valorii de 90 cm, pe ambele direcții X și Y și pentru ambele distribuții de forțe. Variabilitatea scăzută se datorează perioadelor modurilor fundamentale ale structurii ce depășesc perioada de colț a amplasamentului, astfel încât aceste perioade corespund domeniului de deplasări constante din spectrul elastic sau inelastic de proiectare corespunzător amplasamentului orașului București.

6. Calculul dinamic neliniar

Pentru analizele dinamice neliniare ale structurii s-a utilizat programul de calcul Perfom 3D. Modelul de analiză a inclus legi de comportare histeretică atât pentru materiale cât și pentru articulațiile plastice punctuale ale elementelor de tip bară.

Modelul de comportare ciclică implementat în program pentru articulații plastice punctuale se bazează pe o lege histeretică ce are la bază modelul bilinear cu consolidare cinematică. Factorul de degradare a energiei histeretice s-a considerat 0,5 iar factorul de degradare a rigidității s-a definit cu valoarea 0. Legat de comportarea materialelor, pentru beton s-a declarat un factor de degradare a energiei pentru fibrele comprimate egal cu 0,5. În cazul modelului de comportare histeretică a fibrelor de beton comprimate, rigiditatea la descărcare este întotdeauna egală cu rigiditatea elastică inițială. Modelul controlează cantitatea de energie disipată prin controlul rigidității la reîncărcare și ține cont de închiderea fisurii din întindere înainte de reîncărcare. În analizele dinamice efectuate s-a optat pentru modelul de amortizare Rayleigh, în care matricea de amortizare c reprezintă o combinație liniară între matricea maselor m și matricea de rigiditate elastică k . Pentru declararea amortizării s-au ales două perioade caracteristice, $T_i = T_1$ și $T_j = 0.3T_1$ (T_1 -perioada de vibrație a primului mod fundamental) pentru care s-au considerat fracțiunile din amortizare critică $\xi_i = \xi_j = 0.03$ (3%). Valoarea fracțiunii din amortizarea critică aleasă se bazează pe recomandările existente în literatura de specialitate (un studiu de referință care pune

Dragoș Coțofană, Șerban Dima, Mihai Dragomir, Viorel Popa, Stelian Constantinescu
 în evidență reducerea amortizării pentru structurile înalte este cel a lui Goel și Chopra,
 2007, [9]).

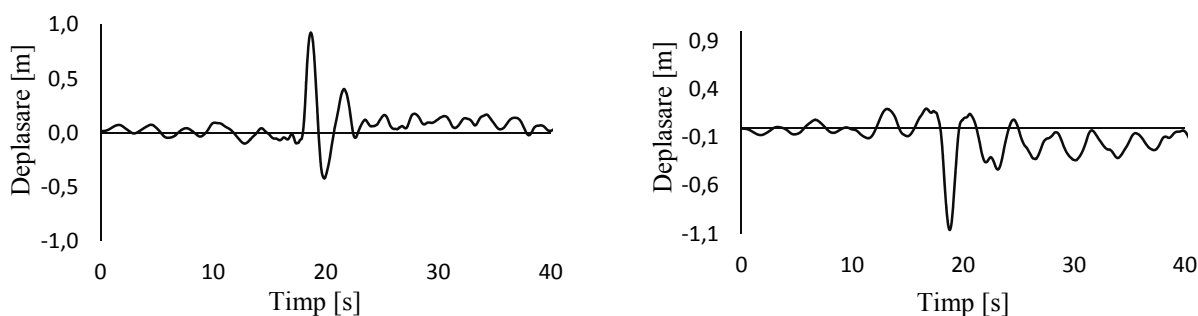


Fig.4: Variația deplasării la vârful structurii pe direcția Y (stânga) și X (dreapta)- Ac1

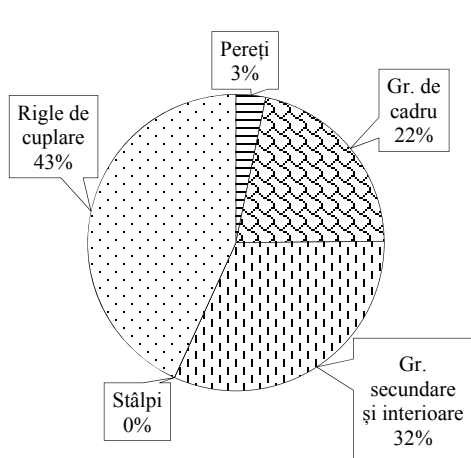


Fig.5: Energia histeretică disipată de elementele structurale - direcția Y
 acceleroograma Ac1

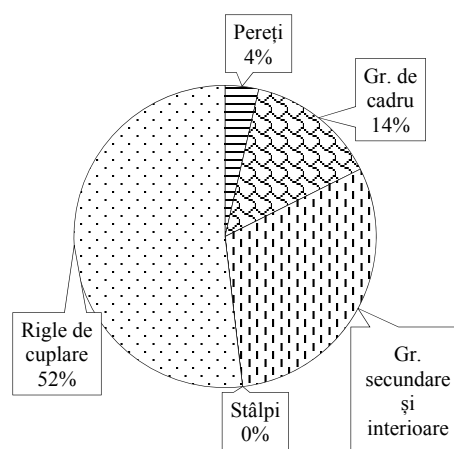


Fig.6: Energia histeretică disipată de elementele structurale - direcția X
 acceleroograma Ac1

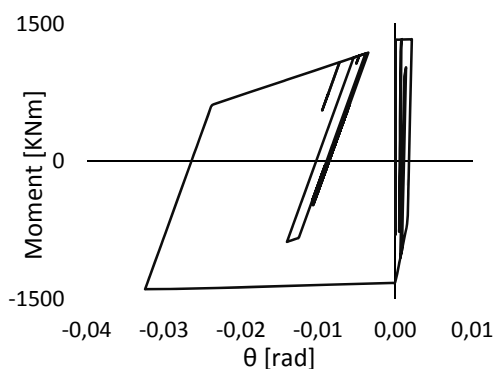


Fig. 7: Relația moment-rotire în rigla de cuplare cea mai solicitată- acceleroograma Ac1- direcția X ($\theta_{pl,max}=0,032$ rad)

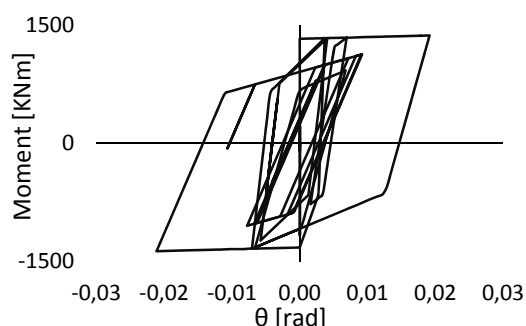


Fig. 8: Relația moment-rotire în rigla de cuplare cea mai solicitată- acceleroograma Ac2- direcția X ($\theta_{pl,max}=0,021$ rad)

Valorile mediate ale deplasărilor maxime înregistrate la vârful structurii sunt de 91 cm pentru direcția X și 83 cm pentru direcția Y. Deplasările maxime s-au înregistrat pentru acceleroograma sintetică obținută prin compatibilizarea cu spectrul a înregistrării Vrancea 77 - INCERC, componenta N-S (notată în cadrul acestui articol cu Ac1), și anume 106 cm pe direcția X, respectiv 92 cm pe direcția Y. În figura 4 se

prezintă variația deplasărilor la vârful structurii, în centrul de masa, pe direcția X și Y pentru acțiunea dinamică reprezentată de această accelerogramă.

În graficele din figurile 5 și 6 sunt redată contribuțiile diferitelor tipuri de elemente structurale în cantitatea de energie totală disipată pentru acțiunea dinamică reprezentată de accelerograma Ac1. Se observă că grinzile și riglele de cuplare au un aport semnificativ în disiparea energiei indusă de acțiunile seismice. Cu toate că principalele elemente de rezistență sunt pereții, datorită înălțimii construcției și driftului mediu redus, aceștia au deformații plastice mici la deplasarea laterală a structurii.

Calculul dinamic neliniar a furnizat variația în timp a deformațiilor elementelor structurale, ce a permis verificarea ductilității acestora. Deformațiile cele mai mari se înregistrează în cazul grinzilor și riglelor de cuplare din treimea superioară a structurii. În cazul riglelor de cuplare armate cu carcasa înclinată, rezultatele experimentale prezentate în literatura de specialitate au pus în evidență o bună comportare a acestor tipuri de rigle la acțiuni seismice, cu capacități de rotire înregistrate în urma testelor experimentale ce depășesc 0.04 rad. Cerințele de rotire maximă în riglele de cuplare și grinzi se înregistrează pentru prima accelerogramă (Vrancea 1977 N-S compatibilizată cu spectrul de proiectare). Relațiile moment-rotire înregistrate în riglele de cuplare cele mai solicitate de pe direcția X pentru două accelerogramele sunt date în figurile 7 și 8.

7. Concluzii

Caracteristicile geometrice ale structurii precum și regimul ridicat de înălțime au impus utilizarea unor metode complexe în proiectarea și evaluarea performanței structurale pentru clădirea Bucharest One. Analizele efectuate prin aplicarea metodelor de calcul liniar elastic sau metodelor de calcul neliniar (calcul static sau dinamic neliniar) au pus în evidență o bună comportare a structurii sub incidența tuturor tipurilor de acțiuni avute în vedere la proiectare, conform codurilor, standardelor și normativelor în vigoare.

Analizele efectuate au arătat că în cazul acțiunii seismice de proiectare energia histeretică este disipată în mare parte prin deformațiile grinzilor și riglelor de cuplare. Deformațiile maxime înregistrate în elementele structurale, determinate pe baza analizelor dinamice neliniare, se situează sub limitele specificate în codurile de proiectare sau cele înregistrate în urma testelor experimentale, existente în literatura de specialitate.

Referințe

- [1] Popa, V., Dragomir, M., Ursu, C., Coțofană, D., Dima, S., Opreșoreanu, V., 2015, BUCHAREST ONE – Soluția structurală a unei clădiri de birouri cu înălțimea de 120m, Asociația Inginerilor Constructori Proiectanți de Structuri, 1-2/2015
- [2] P100-1/2006, Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri

- [3] CR2 -1-1.1 (2005), Cod de proiectare a Construcțiilor cu Pereți Structurali de Beton Armat, M.T.C.T
- [4] ATC, 2010, PEER/ATC-72-1: Modeling and Acceptance Criteria for Seismic design and Analysis of Tall Buildings, Redwood City, Ca.
- [5] CTBUH, 2008, Recommendations for the Seismic Design of High-Rise Buildings, Report of the Working Group on the Seismic Design of Tall Buildings, prepared by Willford, M., Whittaker, A.S., and Klemencic, R., edited by Wood, A., for the CTBUH, Chicago, Illinois.
- [6] LATBSDC, 2008, An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region, Los Angeles, California.
- [7] Etabs2013. Computers and Structures, www.csiberkeley.com
- [8] Perform 3D. Computers and Structures, www.csiberkeley.com
- [9] Goel, R.K., and Chopra, A.K., 1997, Vibration Properties of Buildings Determined from Recorded Earthquake Motions, UCB/EERC Report 97/14, University of California, Berkeley, California.