

ANALIZA COMPATIBILIZĂRII DISPOZITIVELOR DISIPATIVE METALICE NELINIARE CU DUCTILITATE AMPLIFICATĂ PENTRU PROTECȚIA ANTISEISMICĂ

ANALYSIS OF COMPATIBILIZATION OF NON-LINEAR METAL DISSIPATIVE DEVICES WITH AMPLIFIED DUCTILITY FOR ANTISISMIC PROTECTION

Drd. Ing. PUNGOCI Alexandru
Universitatea Tehnică de Construcții București, Romania

Rezumat

Tendința actuală a proiectării seismice este micșorarea cerinței prin introducerea în structură a unor dispozitive inovative denumite disipatori de energie sau amortizori. Aceștia îmbunătățesc răspunsul structural absorbind mare parte din energia seismică prin adăugarea de amortizare structurii și înlăturând principalul dezavantaj al proiectării tradiționale – acceptarea deformațiilor remanente în elementele structurale. Aceste noi metode sunt ideale atât pentru consolidarea fondului construit, mai ales pentru clădirile cu importanță ridicată, cât și pentru proiectarea structurilor noi.

În ceea ce privește consolidarea structurilor existente, metodele tradiționale au scopul de a îmbunătăți rezistența, rigiditatea și ductilitatea sistemului structural, iar metodele inovative de modificare a sistemului structural au rolul de atenuare a efectului forțelor seismice, prin creșterea amortizării. Sunt metode eficiente de reducere a efectelor negative ale seismului asupra structurilor, nu necesită în general tehnologii greoaie de execuție, perioade lungi de timp sau suspendarea funcționalității clădirii. Principalele dezavantaje ale acestor metode sunt faptul că implică metode de calcul avansate și sunt mult mai costisitoare.

Cuvinte cheie: *disipator histeretic, ductilitate, rigiditate, amortizare, seism, vibrație, structura, rigidizare*

Abstract

The current trend of seismic design is to reduce the requirement by introducing innovative structures called energy dissipators or dampers into the structure. They improve the structural response by absorbing much of the seismic energy by adding damping to the structure and removing the main disadvantage of traditional design - accepting the remaining deformations in the structural elements. These new methods are ideal both for the consolidation of the built fund, especially for the buildings of high importance, as well as for the design of the new structures.

Regarding the consolidation of the existing structures, the traditional methods aim to improve the strength, rigidity and ductility of the structural system, and the innovative methods of modifying the structural system have the role of mitigating the effect of the seismic forces, by increasing the damping. They are efficient methods to reduce the negative effects of the earthquake on the structures, generally do not require cumbersome execution technologies, long periods of time or the suspension of the functionality of the building. The main disadvantages of these methods are that they involve advanced calculation methods and are much more expensive.

Keywords: *hysteretic heatsink, ductility, rigidity, damping, earthquake, vibration, structure, stiffening*

1. INTRODUCERE

Energia indusă de seism este transformată în energie cinetică și energie potențială, care trebuie disipate prin căldură. Abordările tradiționale de proiectare prevăd ca energia să fie absorbită prin deformarea histeretică a elementelor structurale, acceptând pe această cale degradări remanente mari în elemente și implicit costuri foarte mari de consolidare după seism. Conceptele moderne de proiectare prevăd includerea în sistemul structural a unor dispozitive de amortizare.

Amortizorii metalici sunt configurați pe baza unei relații forță – deplasare, utilizându-se deplasarea relativă dintre capetele dispozitivului, iar răspunsul acestora este independent de viteza relativă dintre capete și de frecvența excitației (FEMA 356). Deplasarea relativă depinde de localizarea amortizorului în structură, iar caracteristicile acestuia influențează forța indusă. În general, dispozitivele ce utilizează proprietățile de disipare de energie ale materialelor ductile pot fi realizate pentru preluarea și plastificarea la diferite eforturi, cum ar fi forța tăietoare, forța axială, moment încovoietor.

2. TIPURI DE AMORTIZORI METALICI

Dispozitivele în formă de fagure – Fig. 1. concepute special pentru a fi prevăzute în structurile foarte înalte, sunt instalate între niveluri pe întreaga înălțime a structurii pentru a intra în lucru doar la solicitări ce acționează în planul lor (Kobori et.al,1992). Fig.1. (b) demonstrează bucle histeretice stabile cu o mare capacitate de disipare de energie.

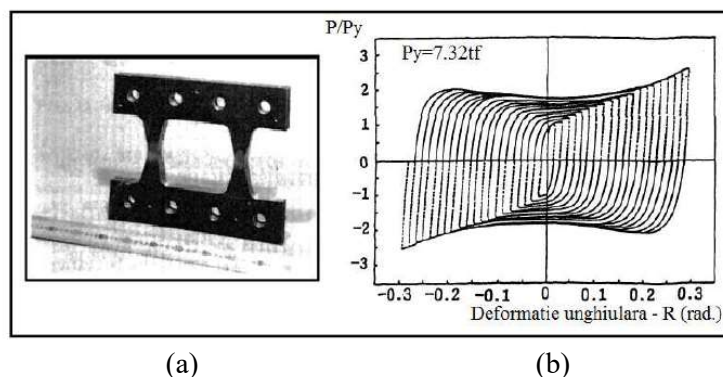


Fig.1. (a) Dispozitiv tip "fagure"; **(b)** Răspuns histeretic încărcare-deformație (Kobori et.al,1992).

Dispozitivele în formă de clepsidră – Fig.2. sunt fixate rigid de sistemul structural prin tălpile sale, pe când inima reprezintă zona disipativă a dispozitivului, concepută în așa fel încât să se plastifice uniform pe lungimea sa datorită deplasării relative dintre cele două tălpi. Răspunsul histeretic al disipatorului la solicitări ciclice este prezentat în Fig.2. (b), demonstrând bucle aproape rectangulare la solicitări mici. La solicitări mai mari însă, buclele histeresis încep să ia formă de fluture, datorită întăririi la amplitudini mărite (Kobori et.al,1992).

Dispozitivele de amortizare și rigidizare ADAS - Added Damping and Stiffness, introduse de Bechtel Power Corporation, sunt alcătuite din mai multe plăcuțe metalice în formă de X – Fig. 3., implementate într-un sistem de contravântuiri de tip Chevron. În timpul solicitărilor seismice, plăcuțele sunt solicate la eforturi de forfecare, care induc moment încovoietor de-a lungul înălțimii plăcuței, încovoierea acționând pe direcția slabă a secțiunii plăcuței. Configurația geometrică a plăcuței este în așa

manieră încât momentul încovoietor produce o distribuție uniformă a eforturilor unitare pe înălțimea plăcuței. (Symans et al, 2008).

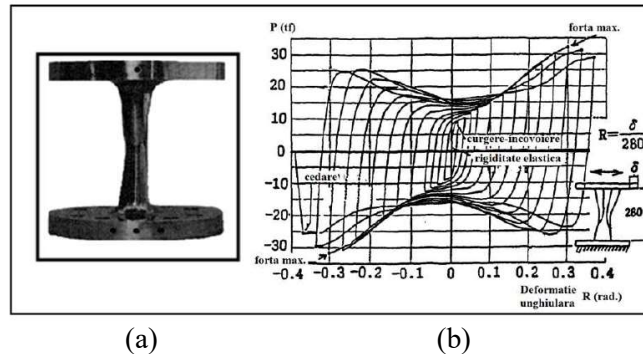


Fig.2. (a) Dispozitiv tip "clepsidra"; (b) Răspuns histeretic încărcare-deformație (Kobori et.al, 1992).

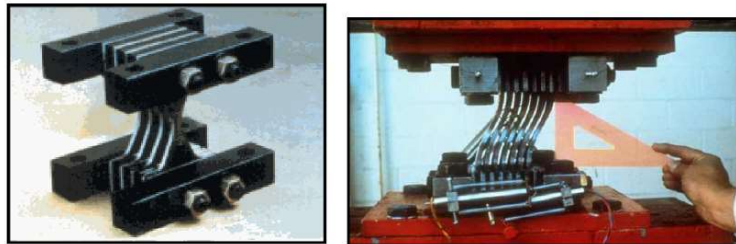


Fig. 3. Dispozitiv tip ADAS (Tabatabaei, 2003).

Barele disipative componente ale sistemelor HYDE sunt realizate dintr-un segment scurt de tip țevă pătrată având sudat la interior o placă metalică. Execuția și instalarea dispozitivelor este simplă și nu implică mari costuri. Principiul de funcționare al dispozitivelor HYDE, ca și în cazul celorlalți amortizori metalici, este acela că toate elementele structurale se vor comporta în limitele domeniului elastic, pe când dispozitivul va fi singurul care va avea incursiuni în domeniul inelastic. Pentru a descrie comportarea BD din sistemul HYDE la solicitări seismice, se va folosi modelul Bouc-Wen forță tăietoare – deplasare – Fig. 4. (Schmidt, Dorka, 2004).

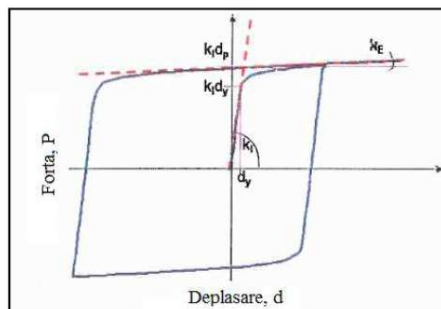


Fig.4. Model histeretic pentru dispozitivele HYDE (Schmidt, Dorka, 2004).

Diagonalele neaderente (DN) sunt realizate dintr-o inimă metalică, realizată dintr-un oțel moale, cu secțiunea în formă de cruce, îmbrăcată în cămașă metalică umplută cu beton sau mortar, pentru a împiedica diagonală să flambeze la compresiune – Fig. 5 (a). DN reprezintă o soluție îmbunătățită pentru diagonalele obișnuite, care au o capacitate de disipare a energiei redusă, datorită performanțelor reduse la sollicitările ciclice. Comportarea histeretică este stabilă, având aceeași capacitate de disipare a energiei atât la întindere, cât și la compresiune–Fig.5.(b).

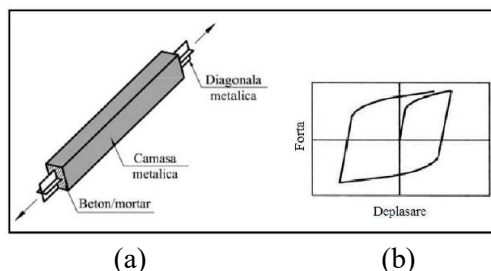


Fig.5. (a) Configurație DN ; (b) Comportare histeretică pentru DN (Symans et al, 2008).

Avantajele oferite de barele disipative din aluminiu – Fig. 6., datorită proprietăților de material, sunt: limita scăzută de curgere, ductilitatea, rezistența la oboseală, posibilitatea folosirii unui profil cu inimă mai groasă, lucru care reduce problema voalării inimii, costuri scăzute.

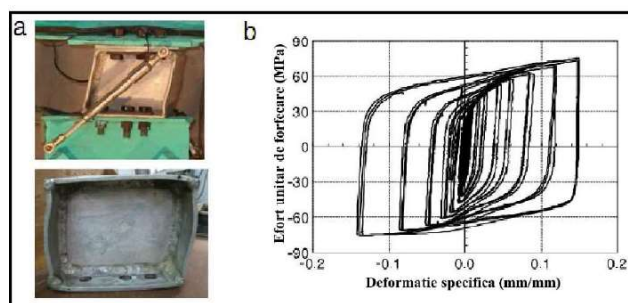


Fig.6 . Răspunsul BD de forfecare din aluminiu supus la încărcări ciclice
(a) Dispozitiv experimental; (b) Curba forță-deplasare (Sahoo și Rai, 2010).

3. EVOLUȚIA ÎN TIMP A REGLEMENTĂRILOR TEHNICE PENTRU PROIECTAREA CONSTRUCȚIILOR

Fondul construit existent din România este foarte diversificat, în funcție de evoluția în timp a reglementărilor tehnice.

În anul 1963, pe baza datelor colectate în urma cutremurului din 1940, apare primul normativ de proiectare seismică – P.13-1963 – „Normativul condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale în regiuni seismice”. Prin acest normativ s-a introdus evaluarea forțelor seismice sub formă triunghiulară parabolică, catalogarea construcțiilor funcție de importanța lor, considerarea excentricității centrului masic față de centrul de rigiditate. Spectrul de proiectare propus de P.13-1963 corespunde cutremurelor californiene de suprafață, rapide, cu zonă redusă de amplificare a accelerațiilor de răspuns (Fig. 7). În anul 1970 Normativul de proiectare P.13-1963 este revizuit sub forma – „Normativ pentru

proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice” P.13-1970, iar curba spectrală $\beta - T_c$ se modifică.

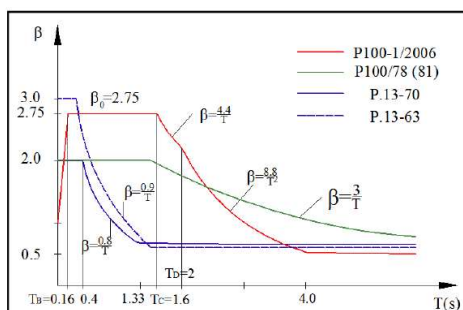


Fig. 7. Comparație între curbele spectrale prevăzute în normativele P.13-1963, P.13-1970, P100/78(81), P100-1/2006 (Grănescu, 2008).

Majoritatea structurilor în cadre din beton armat proiectate și realizate pe baza reglementărilor tehnice învechite nu corespund cerințelor de rigiditate și rezistență conforme cu normele în vigoare. Din considerente economice și de siguranță a vieții, acestea trebuie reabilitate, pentru îmbunătățirea rigidității laterale, rezistenței și ductilității.

4. CONSOLIDAREA STRUCTURILOR EXISTENTE DIN BETON ARMAT

Metodele de consolidare care modifică sistemul structural introduc în structură elemente adiționale cu rolul de a prelua forțele laterale și a descărca sistemul existent.

Pentru a combina avantajele metodelor tradiționale și a celor inovative, se propune consolidarea structurilor în cadre din beton armat utilizând contravântuiri excentrice metalice cu bară disipativă scurtă verticală ce se comportă ca disipator histeretic de energie. Este propusă o metodă inovatoare, deosebit de avantajoasă din următoarele considerente: se aduce un aport semnificativ de rigiditate laterală, rezistență la forțe orizontale și capacitate de disipare a energiei, fără a mări semnificativ masa structurii și implicit forțele de inerție din timpul unei solicitări seismice și nu în ultimul rând, deși este o metodă inovatoare, nu necesită costuri ridicate, putând fi utilizată în proiectarea curentă. De asemenea, diagonalele metalice prevăzute cu disipatori histeretici au avantajul de a fi implementate cu ușurință, mai ales pe exteriorul clădirii, fără a fi afectată funcționalitatea clădirii.

5. SISTEME DE RIGIDIZARE A CADRELOR DIN BETON ARMAT

În literatura de specialitate s-au realizat numeroase încercări experimentale și simulări numerice cu privire la moduri de amplasare sau de prindere a diagonalelor metalice în cadrele din beton armat. În Fig. 5.2. sunt exemplificate principalele modalități de încadrare a contravântuirilor metalice prevăzute cu disipativ histeretic în cadrul existent din beton armat.

În Fig. 8. (a) diagonalele și disipatorul sunt prinse direct de cadrul din beton armat existent, prin intermediul plăcuțelor metalice, al buloanelor și mortarului epoxidic. Pentru cazul contravântuirilor de tip V prevăzute cu disipatori metalici de energie, acest sistem nu se recomandă, deoarece cadrul existent va fi solicitat de eforturi suplimentare: concentrări de eforturi axiale în grinda de cadru de care este prins elementul disipativ și în zonele de prindere ale diagonalelor de nodurile de cadru din beton armat. Pentru a

elimina aceste concentrări de eforturi, s-a adoptat soluția încadrării sistemului de contravântuire într-un cadru metalic rectangular – Fig. 8.(b), conectat de cadrul existent prin șuruburi și mortar epoxidic. Soluția este în plus capabilă să confere cadrului existent suport adițional pentru preluarea încărcărilor gravitaționale în eventualitatea unei potențiale situații de colaps de după cutremur (Durucan, 2010). Fig. 8.(c) ilustrează o configurație mai economică, deoarece implică montarea unei grinzi colectoare metalice doar la interfața cu elementul disipativ. Restul conexiunilor (diagonalacadrul beton armat) sunt realizate prin plăcuțe metalice, buloane și mortar epoxidic.

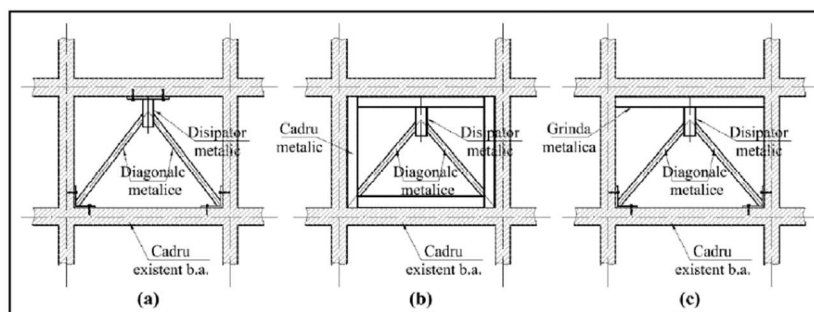


Fig. 8. Modalități de încadrare a sistemului disipativ (Durucan, 2010).

În Fig. 9. este prezentat astfel programul experimental prin care un cadru din beton armat proiectat doar la încărcări gravitaționale este rigidizat cu sistem de contravântuire tip chevron prevăzut cu dispozitiv de disipare de energie – bară disipativă verticală scurtă din aluminiu, supus la încărcare gravitațională constantă și deplasări laterale ciclice incrementate treptat. Bara disipativă de forfecare are un răspuns histeretic stabil, cu o consolidare semnificativă. Curbele de răspuns ale modelului rigidizat și ale barei disipative scurte din aluminiu au fost aproape similare și, prin urmare, comportarea forță-deplasare a modelului rigidizat a fost în mare măsură controlată de BD (Sahoo, Rai, 2010).

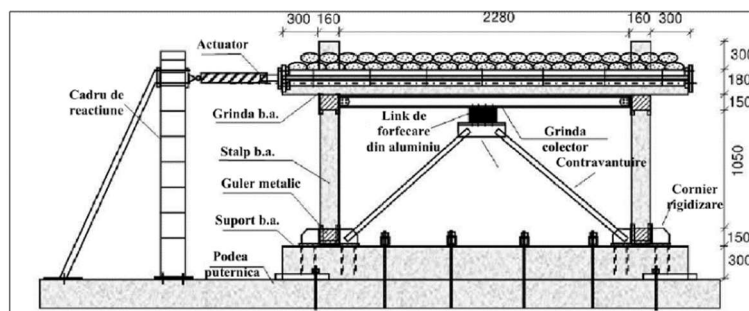


Fig. 9. Modelul experimental rigidizat (Sahoo și Rai, 2010)

6. STUDIU DE CAZ – ÎMBUNĂTĂȚIREA RĂSPUNSULUI SEISMIC AL UNEI STRUCTURI ÎN CADRE DIN BETON ARMAT UTILIZÂND AMORTIZORI METALICI

Lucrarea propune ca sistem de consolidare a structurilor în cadre din beton armat utilizarea contravântuirilor metalice excentrice prevăzute cu bară disipativă metalică. Prin această soluție se urmărește îmbunătățirea rezistenței la forțe orizontale, a rigidității laterale, și a capacității de disipare de energie, fără a mări semnificativ masa structurii. Nu implică niște costuri ridicate, și pot fi implementate cu ușurință, mai ales pe exteriorul clădirii, fără a fi afectată semnificativ funcționalitatea clădirii.

6.1 DESCRIEREA CONSTRUCȚIEI EXISTENTE

S-a analizat o structură (Fig.10.) cu regim de înălțime P + 7E în cadre din beton armat, amplasată în municipiul București, proiectată în anii '60, pe baza normativului P13-63, cu destinația – bloc de locuințe. Structura se dezvoltă pe 2 deschideri de 6,0m și 6 travei de 3,8m. Înălțimea de nivel este constantă pe toată înălțimea construcției, fiind de 3,3m. Toți stâlpii au aceleași dimensiuni, variabile pe înălțime, astfel: la primele 4 niveluri au secțiunea 35x70cm, iar pentru restul nivelurilor 35x40cm, conform Fig.11. Grinzile transversale au dimensiunile secționale de 30x55cm, iar cele amplasate pe direcția longitudinală au dimensiunile de 30x45cm. Planșeul este realizat din beton armat și are grosimea de 10 cm.

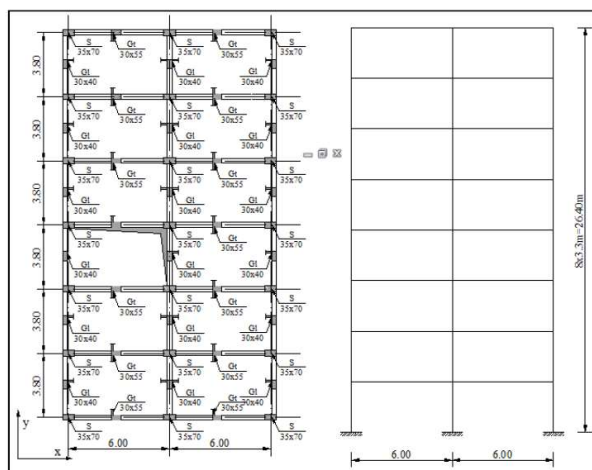


Fig. 10. Plan cofraj niveluri 1-4 pentru structura existentă

Armarea elementelor structurale este ilustrată în Fig. 11. Rigiditățile elastice de calcul pentru elementele structurale ale construcției existente au fost considerate în domeniului fisurat. Pentru armătură, atât transversală, cât și longitudinală, s-a utilizat oțel OB37. Echivalentul betonul utilizat este – C16/20, cu rezistența medie la compresiune $f_{cm} = 24 \text{ MPa}$.

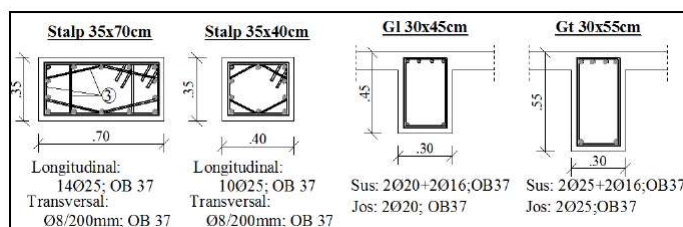


Fig. 11. Secțiuni transversale pentru elementele structurale ale clădirii existente

Încărcările din greutatea proprie a structurii sunt determinate automat de programul de calcul utilizat la modelarea structurii (SAP 2000). Încărcările permanente, greutatea tehnice și încărcările tehnologice din exploatare (utile) s-au stabilit în conformitate cu SR EN 1991-1-1. Încărcări etaj curent: Permanente - 3.10 KN/m^2 ; Utile - 2.50 KN/m^2 ; Încărcări acoperiș (Terasă): Permanente - 3.50 KN/m^2 ; Utile - 1.00 KN/m^2 ; Zăpada - 2.00 KN/m^2 .

6.2 RĂSPUNSUL SEISMIC AL CONSTRUCȚIEI EXISTENTE

Pentru verificarea criteriilor de rigiditate, rezistență și ductilitate, s-a utilizat programul de analiză structurală SAP2000 realizându-se următoarele analize: statică liniară – aplicarea forțelor static echivalente conform P100/1-2006 pe direcția x și pe direcția y, static neliniară cu distribuție triunghiulară a forței laterale incrementale pentru cele două direcții: transversală (x) și longitudinală (y). Pentru analiza statică liniară s-a considerat factorul de comportare $q=2$, deoarece structura propusă nu a fost proiectată pe baza criteriilor de ductilitate.

Structura a fost dimensionată pentru niște solicitări seismice mult mai mici în comparație cu actualul cod seismic. Evaluarea calitativă a structurii considerate denotă capacitatea scăzută a secțiunilor transversale a stâlpilor la forță tăietoare, deoarece etrierii nu sunt îndesiți în zonele critice, așa cum este prevăzut în normele în vigoare, cu toate că procente efective de armare longitudinală pentru stâlpi (2.8% și 3.5%) depășesc procente minime actuale. Armătura de rezistență la partea inferioară din grinzi este evident insuficientă pentru preluarea momentelor încovoietoare pozitive din reazeme.

Verificarea de rigiditate s-a realizat conform codului de proiectare seismică P100-1/2006, anexa E, care prevede ca deplasarea relativă maximă a sistemului structural pentru cele două direcții principale – $d_{s,SLS}$ și $d_{s,SLU}$ să nu depășească valoarea admisibilă stabilită pentru Starea Limita de Serviciu (SLS) ca fiind $d_{adm,SLS} = 0.005 \cdot h$ și valoarea admisibilă pentru Starea Limita Ultimă (SLU) ca fiind $d_{adm,SLU} = 0.025 \cdot h$. În Fig. 12. sunt prezentate deplasările relative maxime (considerate la vârful structurii) pentru direcțiile transversală și longitudinală, în care $d_{r,ey}$ și $d_{r,ex}$ reprezintă deplasările relative ale aceluiași punct (exprimate în m) determinate prin calcul static elastic sub încărcări seismice de proiectare. Se poate observa că pentru SLS, deplasările relative depășesc valorile maxime admise prin codul de proiectare în vigoare.

Prin **analiza static incrementală push-over** realizată, a fost evaluată capacitatea seismică a clădirii și ordinea formării articulațiilor plastice cu distribuția acestora pe structură. Componentele cadrelor din beton armat au fost declarate cu elementele de tip “beam”. Cu ajutorul unui program de calcul secțional au fost generate curbele moment-curbură (biliniarizate) pentru grinzi și curba de interacțiune moment încovoietor – efort axial a stâlpilor, pe baza caracteristicilor secționale (beton și armătură) date, utilizând proprietățile betonului confinat.

Pentru grinzi, articulațiile plastice definite sunt de tip moment-rotire. În cazul stâlpilor, au fost definite articulații plastice de tip P-M ductil, ținându-se seama de interacțiunea efort axialmoment încovoietor implementată. Articulațiile plastice au fost atribuite capetelor de bară, atât pentru grinzi, cât și pentru stâlpi. Legea histeretică trilineară adoptată pentru simularea comportării neliniare a elementelor din beton armat este modelul Takeda.

În Fig. 12. sunt prezentate curbele forță – deplasare rezultate analizei push-over și curbele idealizate biliniare folosite pentru determinarea capacităților de rezistență și deformație corespunzătoare curgerii. Se observă o capacitate de rezistență mai mare pe direcția transversală. Deplasările la curgere sunt 0.28m pentru direcția y și 0.35m pentru direcția x, iar deplasările ultime sunt 0.68m pentru direcția y, respectiv 0.69m pentru x.

Analiza compatibilizării dispozitivelor disipative metalice neliniare cu ductilitate amplificată pentru protecția antiseismică

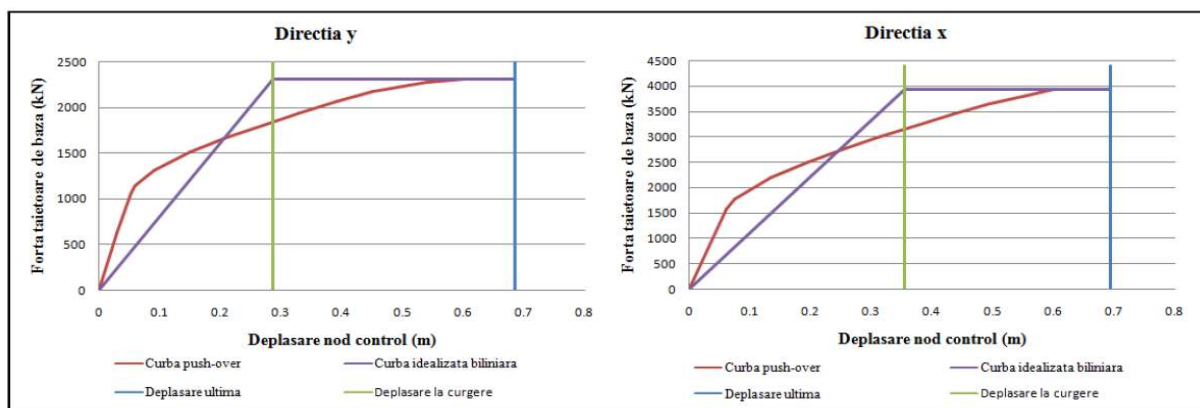


Fig. 12. Curbe forță tăietoare de bază – deplasare nod control și curbe idealizate biliniare pentru structura existentă (y și x)

Tabloul articulațiilor plastice corespunzător deplasării ultime a nodului de control (considerat la vârful structurii) evidențiază mecanismul global și local de cedare a structurii. Se observă că apariția articulațiilor plastice respectă principiul grinzi slabe - stâlpi puternici, dar local, majoritatea grinzilor cedează.

6.3 DESCRIEREA SISTEMULUI DE RIGIDIZARE

Soluția de consolidare implică modificarea sistemului structural de preluare a încărcărilor laterale, introducând un sistem nou de preluare a forțelor laterale și descărcarea sistemului existent (Fig. 13.) - introducerea de elemente disipative, diagonale metalice prevăzute cu bară disipativă metalică. Toți stâlpii de la primele două niveluri au fost consolidați utilizând cămășuiți metalice. Amplasarea sistemelor de rigidizare nu afectează funcționalitatea clădirii.

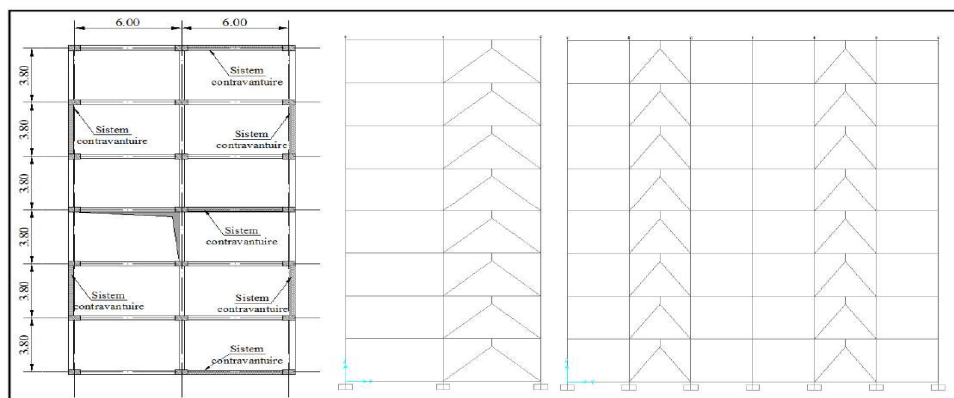


Fig. 13. Amplasarea sistemelor de consolidare în plan și elevații.

6.4 EVALUAREA PERFORMANȚEI SEISMICE A CONSTRUCȚIEI CONSOLIDATE

Pentru calculul seismic în soluția consolidată se va utiliza un factor de comportare $q=3.5$, deoarece introducerea sistemului de consolidare aduce un important aport de ductilitate și rezistență în structură.

Fig. 14. și Fig. 15. demonstrează faptul că, pentru structura consolidată, nicio deplasare relativă de nivel nu mai depășește valoarea maximă admisă. Deplasările relative au fost diminuate semnificativ, cu până la 65% pentru SLS și până la 45% pentru SLU, iar variația acestora pe înălțimea clădirii consolidate este mult mai uniformă.

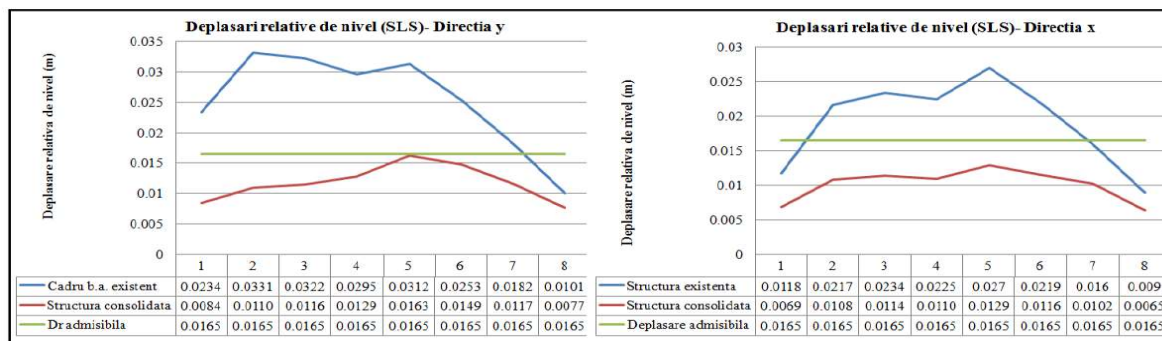


Fig. 14. Reprezentare comparativă a deplasărilor relative de nivel la SLS pentru construcția existentă și cea consolidată

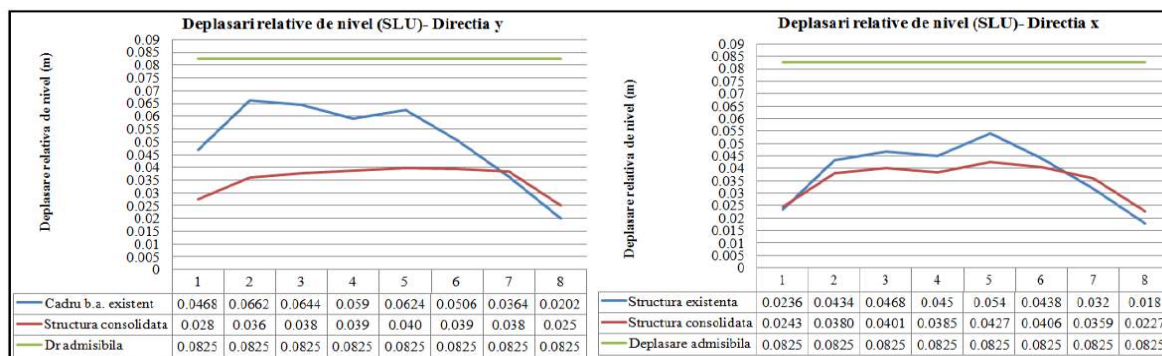


Fig. 15. Reprezentare comparativă a deplasărilor relative de nivel la SLU pentru construcția existentă și cea consolidată

Rezultatele **analizei push-over** prezentate în Fig.16., arată faptul că sistemele de consolidare au fost amplasate în așa fel încât capacitatea de rezistență să fie asemănătoare pentru cele două direcții. Se observă în final o comportare structurală asemănătoare la încărcări laterale pentru cele două direcții considerate, cu o capacitate de rezistență semnificativ mărită.

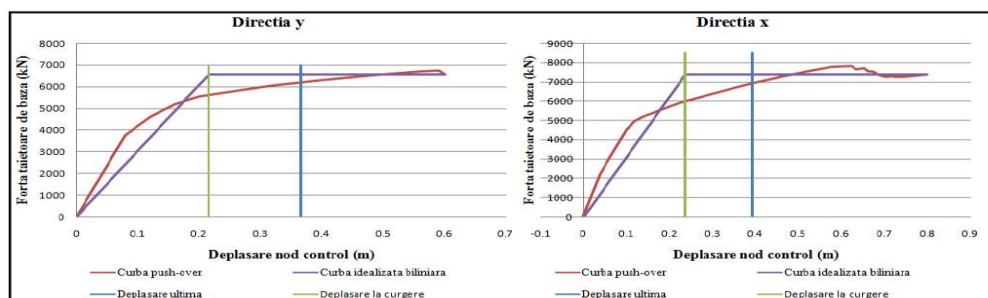


Fig. 16. Curbe forță tăietoare de bază – deplasare nod control și curbe idealizate biliniare pentru structura consolidată

Pentru **analiza dinamic – neliniară time-history** s-au utilizat accelerogramele din Fig.17

Analiza compatibilizării dispozitivelor disipative metalice neliniare cu ductilitate amplificată pentru protecția antiseismică

Tablourile articulațiilor plastice prezentate în Fig.18,19,20. Confirmă mecanismul plastic favorabil al structurii consolidate, în care majoritatea barelor disipative au disipat energie în limita IO (Ocupare imediată), iar în unele grinzi de cadru și în câțiva stâlpi (niveluri inferioare), au apărut articulații plastice cu valori foarte mici.

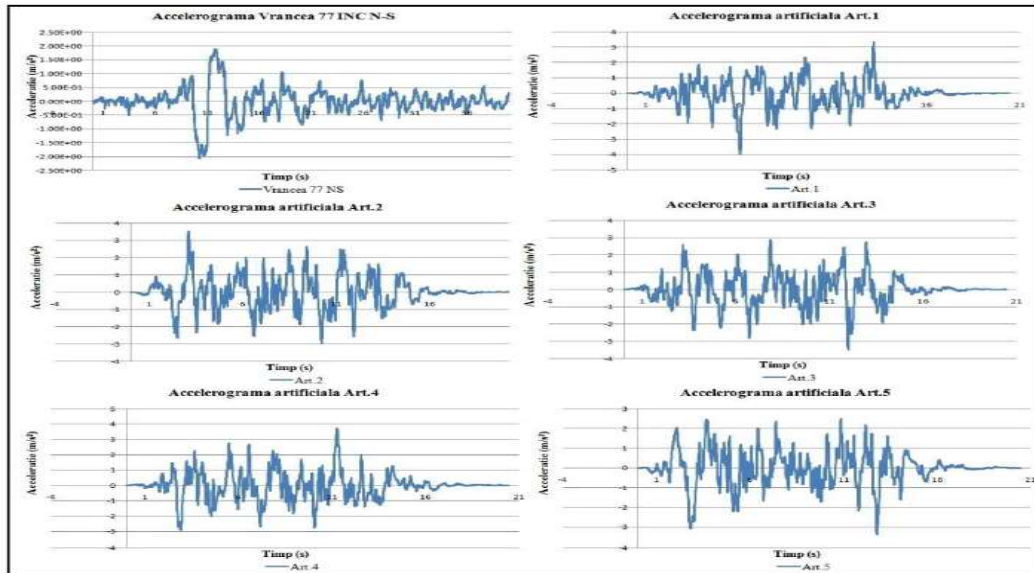


Fig. 17. Accelerograme utilizate pentru analiza dinamic neliniară

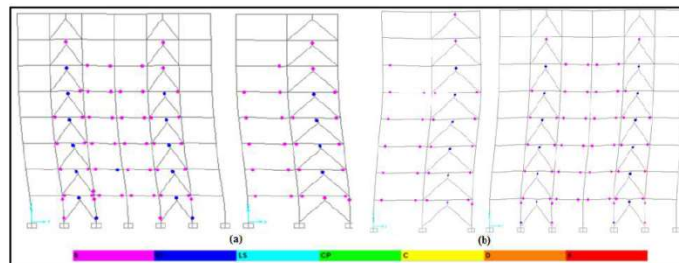


Fig. 18. Tabloul articulațiilor plastice pentru structura consolidată
(a) Accelerogr. Vrancea '77; (b) Accelerogr. Art. 1.

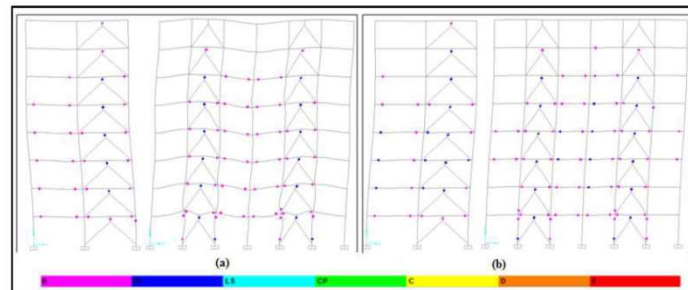


Fig. 19. Tabloul articulațiilor plastice pentru structura consolidată
(a) Accelerogr. Art. 2.; (b) Accelerogr. Art. 3.

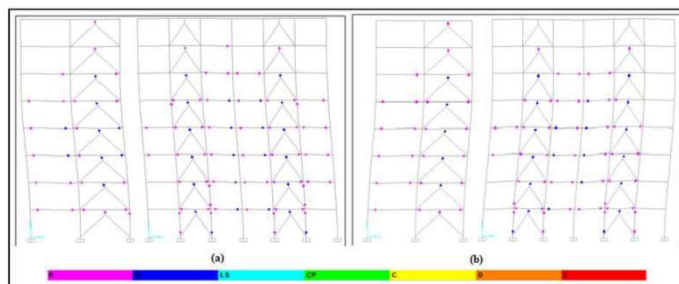


Fig. 20. Tabloul articulațiilor plastice pentru structura consolidată
(a) Accelerogr. Art. 4.; (b) Accelerogr. Art. 5.

6.5 CONCLUZII

Structura existentă în cadre din beton armat are o vechime de aproximativ 50 de ani, fiind proiectată în conformitate cu reglementările tehnice în vigoare pentru acea perioadă – P13-63. Această normă de proiectare seismică nu corespunde codurilor de proiectare actuale.

Studiul de caz demonstrează necesitatea consolidării unei structuri existente în cadre din beton armat proiectată în conformitate cu normativul seismic P.13-63, care nu corespundea criteriilor de rezistență, rigiditate și ductilitate impuse de codul seismic actual P100-1/2006. Sistemul de consolidare adoptat implică amplasarea contravântuirilor metalice excentrice cu bară disipativă scurtă în anumite cadre, conectată de grinda existentă din beton armat prin intermediul unei grinzi metalice colector, pentru a prelua o mare parte din solicitările seismice.

Structura de rezistență consolidată prin metoda propusă a demonstrat rigiditate și rezistență mult îmbunătățite, iar datorită faptului că sistemul introdus absoarbe o mare parte din energia seismică, eforturile din elementele structurale existente au fost micșorate semnificativ, optimizând comportarea clădirii consolidate la solicitări seismice. Rezultatele analizei dinamic neliniară time-history arată faptul că grinzile de cadru din beton nu mai cedează, iar mecanismul global de apariție a articulațiilor plastice este favorabil.

Acest studiu de caz, arată consolidarea structurilor în cadre din beton armat prin utilizarea contravântuirilor metalice excentrice prevăzute cu bară disipativă scurtă metalică. Această soluție este avantajoasă din următoarele considerente: se aduc îmbunătățiri semnificative a rigidității laterale, rezistenței la forțe orizontale și capacității de disipare a energiei, fără a mări semnificativ masa structurii și fără a necesita costuri ridicate. Se demonstrează că structura în cadre din beton armat analizată, cu regim de înălțime $P + 7E$, amplasată în municipiul București, proiectată pe baza normativului P13-63, nu corespunde actualelor criterii impuse de codul de proiectare seismică în vigoare P100-1/2006. Supusă accelerogramei ce descrie cutremurul vrâncean din '77, majoritatea grinzilor cedează, avertizând un eventual colaps în cazul unui seism major. Rezultatele analizei time-history arată faptul că grinzile de cadru din beton nu mai cedează, iar mecanismul global de apariție a articulațiilor plastice este favorabil. Structura de rezistență consolidată prin metoda propusă a demonstrat o îmbunătățire semnificativă a rigidității și rezistenței, iar datorită faptului că sistemul introdus absoarbe o mare parte din energia seismică, eforturile din elementele structurale existente au fost micșorate semnificativ.

BIBLIOGRAFIE

1. Arce, G. (2002). - Impact of higher strength steels on local buckling and overstrength of links in eccentrically braced frames, Disertație, Universitatea din Texas, Austin, TX, 2002.
2. Bârsan, G. M. - Dinamica și stabilitatea construcțiilor, Editura didactică și pedagogică - București, 1979.
3. Becker, R.; Ishler, M. - Seismic Design Practice for Eccentrically Braced Frames, Structural Steel Educational Council, 1996.
4. Berman, J. W.; Bruneau, M. – Experimental and Analytical Investigation of Tubular Links for Eccentrically Braced Frames, Engineering Structures 29, 1929-1938, 2007.
5. Chao, S.; Khandelwal, K.; El-Tawil, S. – Ductile Web Fracture Initiation in Steel Shear Links, Journal of Structural Engineering, ASCE, 1192-1200, 2006.
6. Cheșcă, A. B. – Utilizarea Amortizorilor la Realizarea Construcțiilor și Consolidarea Structurilor Existente din Zone Seismice, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de construcții București, 2011.
7. Chopra, A. K. - Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
8. Chou, C. C.; Tsai, K. C. – Plasticity-Fibre Model for Steel Triangular Plate Energy Dissipating Devices, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, 1643- 1655, 2002.
9. Clough, R. W.; Penzien, J. - Dynamics of Structures, Computers and Structures, Inc, 1995, University Ave., Berkeley, CA 94704 USA.
10. Durucan, C.; Dicleli, M. – Analytical Study on Seismic Retrofitting of Reinforced Concrete Buildings Using Steel Braces with Shear Link, Engineering Structures 32, 2995-3010, 2010.
11. Dusicka, P.; Itani, A. M.; Bukle I. G. – Evaluation of Conventional and Specialty Steels in Shear Link Hysteretic Energy Dissipators, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, Lucrarea Nr. 522, 2004(1).
12. Dusicka, P.; Itani, A. M.; Buckle, I. G. – Finite Element Investigation of Steel Built-up Shear Links Subjected to Inelastic Deformations, ANCER Anual Meeting: Networking of Young Earthquake Engineering Researchers and Professionals, The Sheraton Princess Kaiulani, Honolulu, Hawaii, Iulie 28-30, 2004(2).
13. Dwairi, H.; Kowalsky, M. - Investigation of Jacobsen's Equivalent Viscous Damping Approach as Applied to Displacement-Based Seismic Design, Paper No. 228, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2004.
14. Florea, F. S.; Roșu, L. E. – Enhanced Seismic Resistance of Steel Structures using Passive Energy Dissipation Devices, Proceedings of the 3rd Conference Young Researchers from TUCB, ISSN 2069-1793, 2012.
15. Florea, F. S. – Behaviour of Seismic Resistant Eccentrically Braced Frames, Ovidius University Annals Series: Civil Engineering, Issue 14, 2012.
16. Florea, F. S.; Roșu L. E. – Îmbunătățirea răspunsului seismic al unei structuri în cadre din beton armat, Buletinul științific al Universității Tehnice de Construcții București, Nr. 3, 2013.
17. Florea, F. S.; Roșu L. E. – Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Frames Using Passive Energy Systems, 11th International Conference on Vibration Problems, Lisbon, Portugal, 2013.
18. Florea, F. S. – Studiul barelor disipative scurte ca disipatori histeretici de energie, Raport de cercetare, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2012.
19. Florea, F. S. – Construcții metalice în cadre prevăzute cu amortizori metalici, Raport de cercetare, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2012.
20. Florea, F. S. – Îmbunătățirea rezistenței seismice a cadrelor din beton armat cu amortizori ce folosesc materiale ductile, Raport de cercetare, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2013.
21. Grănescu, A. M.; Barbu, A. M. D. – Repararea și consolidarea construcțiilor, Editura Agir, București
22. Hjelmstad, K. D.; Popov, E. P. – Cyclic Behavior and Design of Link Beams, Journal of Structural Engineering, ASCE, 109(10):2387-2403, 1983.
23. Hjelmstad, K. D.; Popov, E. P. – Shear Characteristics of Eccentrically Braced Frames, Journal of Structural Engineering, ASCE, 110(2):340-53, 1984.

24. Ieremia, M. - Analiza numerică neliniară a structurilor, vol. I, Fundamente de calcul, Editura Conspress, ISBN 073-7797-36-1, București, 2004.
25. Ifrim, M. - Dinamica structurilor și inginerie seismică Ediția a II-a, revizuită, Editura didactică și pedagogică - București, 1984.
26. Ioan, P.; Bețea, Ș. - Structuri metalice multietajate amplasate în zone seismice. Partea I Principii și metode de calcul, Editura Matrix Rom, București, 2001.
27. Kasai, K.; Popov, E. P. – General Behavior of WF Steel Shear Links, ASCE Journal of Structural Engineering, 112(2), pp. 362-382, 1986 (1).
28. Kasai, K.; Popov, E. P. – Cyclic Web Buckling Control for Shear Link Beams, ASCE Journal of Structural Engineering, 112(3), pp. 505-523, 1986 (2).
29. Kobori, T.; Miura, Y.; Fukuzawa, E. et al. – Development and application of hysteresis steel dampers, Earthquake Engineering, Tenth World Conference © 1992 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 060 5.
30. Köber, H. – Contribuții privind alcătuirea și calculul structurilor metalice multietajate în cadre contravântuite excentric, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2005.
31. Köber, H.; Dima, Ș. – The Behavior of Eccentrically Braced Frames with Short Links, International Colloquium “Recent Advances and New Trends in Structural Design”, Timișoara, 2004.