Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Construcții Departamentul de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor str. Ioan Curea nr.1, 300224 Timișoara, Romania tel: ++40.256.403911, fax: ++40.256.403917



Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (IMSER)

Cod proiect: PN-II-PT-PCCA-2013-4-2091 Contractul de finanțare nr. 99/2014

Raport tehnic și științific etapa 1 / 2014 Proiectarea cadrelor model cu BRB și sinteza informațiilor existente

Rezumat

Raportul tehnic și științific prezintă activitățile desfășurate în cadrul etapei 1 / 2014 a proiectului "Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (IMSER)". Toate obiectivele asumate în planul de realizare au fost atinse. Astfel, pe baza portofoliului de lucrări elaborate de către P1 au fost selectate două configurații tipice de clădiri cu înălțimea mică și medie și s-a stabilit tema de proiectare pentru nouă clădiri model (Activitatea 1.1). Dintre acestea, în cadrul etapei I / 2014 au fost proiectate patru structuri cu contravântuiri împiedicate la flambaj și o structură în cadre necontravântuite (Activitățile 1.2 și 1.5). Pe baza acestora au fost stabilite cerințele de rezistență și rigiditate pentru două prototipuri de BRB-uri (Activitatea 1.3). În paralel, s-a efectuat o sinteză a informației existente despre performanța și proiectarea dispozitivelor BRB (Activitatea 1.4), care vor sta la baza dezvoltării unor dispozitive BRB proprii în cadrul etapei următoare. Rezultatele obținute au fost diseminate prin intermediul paginii web a proiectului și prin prezentarea proiectului în cadrul comisiei tehnice TC13 "proiectare seismică" a Convenției Europene de Construcții Metalice.

Cuprins

1	INTRODUCERE	
2	SINTEZA ACTIVITĂȚILOR	3
2	2.1 SELECTAREA UNOR CONFIGURATII TIPICE DE CLĂDIRI CU ÎNĂLTIMEA MICĂ ȘI MEDIE	
2	2.2 Proiectarea structurilor model cu BRB	
	2.2.1 Structurile BL07 și BL16	4
	2.2.2 Structura BM07 și BM16	5
2	2.3 SELECTAREA UNOR CAPACITĂȚI TIPICE ALE BRB	7
2	2.4 SINTEZA INFORMATIEI EXISTENTE DESPRE PERFORMANTA ȘI PROIECTAREA DISPOZITIVELOR BRB	
	2.4.1 Dispozitive BRB "convenționale"	
	2.4.2 Dispozitive BRB "uscate"	16
2	2.5 PROIECTAREA STRUCTURII MODEL NECONTRAVÂNTUITE (ML16)	
2	2.6 COORDONARE, ADMINISTRARE, RAPORTARE ȘI PUBLICAREA REZULTATELOR	20
3	CONCLUZII	20

1 Introducere

În cadrul etapei 1 / 2014 a proiectului "Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (IMSER)" au fost prevăzute următoarele activități:

- Act. 1.1 Selectarea unor configurații tipice de clădiri cu înălțimea mică și medie;
- Act. 1.2 Proiectarea structurilor model cu BRB;
- Act. 1.3 Selectarea unor capacități tipice ale BRB;
- Act. 1.4 Sinteza informației existente despre performanța și proiectarea dispozitivelor BRB;
- Act. 1.5 Proiectarea structurilor model necontravântuite;
- Act. 1.6 Coordonare, administrare, raportare și publicarea rezultatelor.

În cele ce urmează se prezintă sintetic activitățile desfășurate și rezultatele obținute.

2 Sinteza activităților

2.1 Selectarea unor configurații tipice de clădiri cu înălțimea mică și medie

În urma analizei portofoliului de construcții proiectate de către partenerul P1 (Popp&Asociații), s-a constatat faptul că există o cerere substanțială pe piața din România pentru clădiri cu regim de înălțime mic și mediu. Destinația clădirilor este relativ variată, cuprinzând structuri pentru birouri, spații rezidențiale, centre comerciale, centre sportive și de agrement, hoteluri și obiective industriale. Spre exemplificare, în Figura 1 sunt prezentate două clădiri proiectate de Popp&Asociații, având destinația de spații pentru birouri (Figura 1a) și imobil rezidențial (Figura 1b).



Figura 1. Centru de afaceri 2S+P+2E, Eforie Sud (a) și imobil rezidențial S+P+3E+4R str. Grigore Mora, București (b).

Au fost selectate pentru analiză în cadrul acestui proiect nouă configurații structurale care diferă prin regimul de înălțime (jos și mediu), condițiile seismice din amplasament (București – a_g =0.3 g, T_c =1.6 s și Timișoara – a_g =0.2 g, T_c =0.7 s) și sistemul de preluare a încărcărilor laterale: cadre necontravântuite (MRF), cadre contravântuite centric (CBF), cadre cu contravântuiri cu flambaj împiedicat (BRBF) și cadre duale cu contravântuiri cu flambaj împiedicat (D-BRBF). Structurile analizate sunt sintetizate în Tabelul 1. În cadrul etapei 1 / 2014 au fost proiectate cinci structuri (BM16, BL16, BM07, BL07 și ML16), evidențiate în Tabelul 1.

Înălțime	Amplasament	MRF	CBF	BRBF	D-BRBF
loacă (D+2)	$T_{\rm C}=0.7{ m s}$ (Timișoara)			BL07	
JUdsa (P+2)	$T_{\rm C} = 1.6$ s (București)	ML16	CL16	BL16	DBL16
Madia (DLE)	$T_{\rm C} = 0.7 { m s}$ (Timișoara)			BM07	
Medie (P+5)	$T_{\rm C} = 1.6$ s (București)		CM16	BM16	DBM16

Tabelul 1. Caracteristicile principale ale structurilor selectate.

Toate structurile model analizate au în comun următoarele caracteristici:

- Dimensiunea în plan: 38.50 x 23.50 m;
- Deschideri în plan: 3 x 7.50m pe o direcție și 5 x 7.50 m pe cealaltă direcție;
- Placă în consolă din axul grinzii marginale: 50 cm;
- Suprafață de nivel: 904.75 m²;
- Înălțimea de nivel: 3.50 m;
- Destinația: spații de birouri;
- Încărcări gravitaționale (utile și permanente);
- Clasa III de importanță și expunere conform Tabelului 4.2 din P100-1;
- Sistem de preluare a forțelor gravitaționale;
- Elementele structurii de rezistență se confecționează din profile laminate dublu T, din oțel S355, cu excepția grinzilor prinse rigid ale cadrelor necontravântuite, confecționate din oțel S235;
- Componentele nestructurale ataşate structurii sunt realizate din materiale cu capacitate mare de deformare, astfel încât valoarea admisibilă a deplasării relative de nivel la starea limită de serviciu este de 0.0075 h, unde h este înălțimea de nivel.

Structurile au fost proiectate pentru următoarele încărcări: încărcarea permanentă pe planșee și acoperiș, încărcarea permanentă din pereții exteriori (fațadă, greutatea proprie a structurii metalice și a planșeelor din b.a., încărcarea utilă pe planșeele curente și pe acoperiș, precum și acțiunea seismică.

S-a adoptat conceptul de comportare disipativă, clasa de ductilitate înaltă a structurii DCH. Astfel, structurile fiind regulate pe verticală, conform P100-1, Tabelul 6.3, pentru cadrele cu contravântuiri cu flambaj împiedicat rezultă un factor de comportare q= 6.0, iar pentru cadrele necontravântuite un factor de comportare q=6.5. Pentru structura în cadre necontravântuite a fost analizat suplimentar și cazul în care s-a adoptat un factor de comportare q=3.0.

2.2 Proiectarea structurilor model cu BRB

2.2.1 Structurile BL07 și BL16

Date generale despre structură:

- Amplasament: Timişoara (BL07) / Bucureşti (BL16)
- Regim de înălțime: parter + 2 etaje (3 niveluri)
- Înălțime totală: H = 10.50 m



Schema spațială a structurii este prezentată în Figura 2. Planșeul din beton armat (b.a.) pe cofraj pierdut din tablă cutată reazemă pe un sistem de grinzi secundare și principale articulate, realizate în

soluție compusă oțel-beton. Sistemul de preluare a încărcărilor laterale este compus din cadre contravântuite centric în V inversat dispuse perimetral pe direcția X în axele 1 și 6 și pe direcția Y în axele A și D, vezi Figura 3 și Figura 4.

Structura a fost analizată folosind un model spațial într-un program de calcul comercial. S-a considerat efectul de diafragmă rigidă asigurat de planșeele de beton armat. Stâlpii cadrelor contravântuite au fost încastrați la bază, iar stâlpii ceilalți au fost articulați la bază. Legăturile dintre bare (rigide/articulate) au fost modelate conform datelor din Figura 3 și Figura 4. Încărcările gravitaționale au fost aplicate pe planșee (încărcările permanente și utile) și pe grinzile perimetrale (încărcarea din pereți exteriori). Masele structurii au fost calculate automat din încărcările gravitaționale aplicate pe structură.



Secțiunile BRB-urilor precum și cele ale stâlpilor și grinzilor de cadru contravântuit au fost determinate pe baza capacității acestora din combinația seismică pentru ULS. Secțiunile grinzilor secundare, ale grinzilor principale și ale stâlpilor din cadrele necontravântuite, au rezultat din combinația fundamentală de proiectare. Secțiunile finale ale elementelor structurale rezultate în urma proiectării structurii sunt prezentate în Tabelul 2 și Tabelul 3.

Tabelul 2. Secțiunile profilelor laminate utilizate în structură și ale miezului diagonalelor pentru structura BL07.

Nivel	Grinzi	Grinzi	Grinzi cadru	Stâlpi	Stâlpi	Stâlpi cadru	Secțiune
	secundare	principale	contravântuit	centrali	perimetrali	contravântuit	diagonale
3	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 220 B	HE 220 B	60x15
2	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 220 B	HE 220 B	95x15
1	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 220 B	HE 220 B	110x15

Tabelul 3. Secțiunile profilelor laminate	utilizate în structură și al	e miezului diagonalelor pentr	u
	structura BL16.		

Nivel	Grinzi	Grinzi	Grinzi cadru	Stâlpi	Stâlpi	Stâlpi cadru	Secțiune
	secundare	principale	contravântuit	centrali	perimetrali	contravântuit	diagonale
3	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 B	HE 220 B	HE 260 B	70x20
2	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 B	HE 220 B	HE 260 B	110x20
1	IPE 220	IPE 400	HE 450 A	HE 260 B	HE 220 B	HE 260 B	130x20

2.2.2 Structura BM07 și BM16

Date generale despre structură:

- Amplasament: Timişoara (BM07) / Bucureşti (BM16)
- Regim de înălțime: parter + 5 etaje (6 niveluri)
- Înălțime totală: H = 21.00 m



Schema spațială a structurii este prezentată în Figura 5. Planșeul din beton armat (b.a.) pe cofraj pierdut din tablă cutată reazemă pe un sistem de grinzi secundare și principale articulate, realizate în soluție compusă oțel-beton. Sistemul de preluare a încărcărilor laterale este compus din cadre contravântuite centric în V inversat dispuse perimetral pe direcția X în axele 1 și 6 și pe direcția Y în axele A și D, vezi Figura 6 și Figura 7.

Structura a fost analizată folosind un model spațial într-un program de calcul comercial. S-a considerat efectul de diafragmă rigidă asigurat de planșeele de beton armat. Stâlpii cadrelor contravântuite au fost încastrați la bază, iar stâlpii ceilalți au fost articulați la bază. Legăturile dintre bare (rigide/articulate) au fost modelate conform datelor din Figura 6 și Figura 7. Încărcările gravitaționale au fost aplicate pe planșee (încărcările permanente și utile) și pe grinzile perimetrale (încărcarea din pereți exteriori). Masele structurii au fost calculate automat din încărcările gravitaționale aplicate pe structură.



Figura 7. Elevații structură prin axele 1, 6, A și D.

Secțiunile BRB-urilor precum și cele ale stâlpilor și grinzilor de cadru contravântuit au fost determinate pe baza capacității acestora din combinația seismică pentru ULS. Secțiunile grinzilor secundare, ale grinzilor principale și ale stâlpilor din cadrele necontravântuite, au rezultat din combinația fundamentală de proiectare. Secțiunile finale ale elementelor structurale rezultate în urma proiectării structurii sunt prezentate în Tabelul 4 și Tabelul 5.

Tabelul 4. Secțiunile profilelor laminate utilizate în structură și ale miezului diagonalelor pentru structura BM07.

Nivol	Grinzi	Grinzi	Grinzi cadru	Stâlpi	Stâlpi cadru	Secțiune
NIVEI	secundare	principale	contravântuit	centrali	contravântuit	diagonale
6	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 240 B	35x12
5	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 240 B	55x12
4	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 260 B	55x15
3	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 M	HE 260 B	65x15
2	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 M	HE 300 B	80x15
1	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 M	HE 300 B	80x15

Tabelul 5. Secțiunile profilelor laminate utilizate în structură și ale miezului diagonalelor pentru structura BM16.

Nivol	Grinzi	Grinzi	Grinzi cadru	Stâlpi	Stâlpi cadru	Secțiune
niver	secundare	principale	contravântuit	centrali	contravântuit	diagonale
6	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 280 B	70x12
5	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 280 B	90x15
4	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 B	HE 280 M	90x20
3	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 M	HE 280 M	105x20
2	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 M	HE 300 M	120x20
1	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 M	HE 300 M	115x20

2.3 Selectarea unor capacități tipice ale BRB

Dimensionarea miezului de oțel al contravântuirilor s-a făcut conform cap. 6.11.4 din P100-1, cu relația:

$$A_{nec,i} = \frac{N_{Ed,i} \bullet \gamma_{M0}}{f_v}$$

$f_{y}(MPa)$	γ _{OV}	γ _{M0}	β	ω
355	1.25	1.10	1.3	1.4

Capacitatea corectată la compresiune (P100-1, cap. 6.11.2(2)): $P_{max} = \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{OV} \cdot f_v \cdot A$.

Capacitatea corectată la întindere (P100-1, cap. 6.11.2(3)): $T_{max} = \omega \cdot \gamma_{OV} \cdot f_y \cdot A$.

unde: β este factorul de corecție a capacității la compresiune, iar ω este factorul de corecție datorat consolidării.

Valorile eforturilor de calcul, ale ariilor necesare și efective și ale capacităților corectate la compresiune și întindere sunt sintetizate pentru direcția X și pentru direcția Y în Tabelul 6, Tabelul 7, Tabelul 8 și Tabelul 9.

Tabelul 6. Eforturile de calcul, aria secțiunii, rezistența de calcul, rezistența corectată la compresiune și întindere pentru structura BL07.

Direcția	Nivel	$N_{Ed,i}(kN)$	$A_{nec,i} (mm^2)$	$A_i (mm^2)$	$N_{Rd,i}(kN)$	$P_{max,i}(kN)$	$T_{max,i}(kN)$
	3	254.65	789.0	900	290.45	726.9	559.1
Х	2	411.60	1275.4	1425	459.89	1 150.9	885.3
	1	492.51	1526.1	1650	532.50	1 332.6	1 025.1
	3	254.30	788.0	900	290.45	726.9	559.1
Y	2	410.40	1271.7	1425	459.89	1 150.9	885.3
	1	493.66	1529.7	1650	532.50	1 332.6	1 025.1

Direcția	Nivel	$N_{Ed,i}(kN)$	$A_{nec,i} (mm^2)$	$A_i (mm^2)$	$N_{Rd,i}(kN)$	$P_{max,i}(kN)$	$T_{max,i}(kN)$
	3	432.23	1339.3	1400	451.82	1 130.7	869.8
х	2	677.45	2099.2	2200	710.00	1 776.8	1 366.8
	1	802.93	2487.9	2600	839.09	2 099.8	1 615.3
	3	431.67	1337.6	1400	451.82	1 130.7	869.8
Y	2	675.28	2092.4	2200	710.00	1 776.8	1 366.8
	1	804.83	2493.8	2600	839.09	2 099.8	1 615.3

Tabelul 7. Eforturile de calcul, aria secțiunii, rezistența de calcul, rezistența corectată la compresiune și întindere pentru structura BL16.

Tabelul 8. Eforturile de calcul, aria secțiunii, rezistența de calcul, rezistența corectată la compresiune și întindere pentru structura BM07.

Direcția	Nivel	$N_{Ed,i}(kN)$	$A_{nec,i} (mm^2)$	$A_i (mm^2)$	$N_{Rd,i}(kN)$	$P_{max,i}(kN)$	$T_{max,i}(kN)$
	6	106.68	330.6	420	135.5	339.2	260.9
	5	169.46	525.1	660	213.0	533.0	410.0
v	4	220.87	684.4	825	266.3	666.3	512.5
^	3	266.57	826.0	975	314.7	787.4	605.7
	2	322.08	998.0	1200	387.3	969.2	745.5
	1	314.06	973.1	1200	387.3	969.2	745.5
	6	106.54	330.1	420	135.5	339.2	260.9
	5	169.25	524.4	660	213.0	533.0	410.0
v	4	220.34	682.8	825	266.3	666.3	512.5
T	3	265.88	823.9	975	314.7	787.4	605.7
	2	321.52	996.3	1200	387.3	969.2	745.5
	1	315.30	977.0	1200	387.3	969.2	745.5

Tabelul 9. Eforturile de calcul, aria secțiunii, rezistența de calcul, rezistența corectată la compresiune și întindere pentru structura BM16.

Direcția	Nivel	$N_{Ed,i}(kN)$	$A_{nec,i} (mm^2)$	$A_i (mm^2)$	$N_{Rd,i}(kN)$	$P_{max,i}(kN)$	$T_{max,i}(kN)$
	6	241.12	747.1	840	271.1	678.4	521.9
	5	407.38	1262.3	1350	435.7	1 090.3	838.7
v	4	547.38	1696.1	1800	580.9	1 453.7	1 118.3
^	3	651.00	2017.2	2100	677.7	1 696.0	1 304.6
	2	753.89	2336.0	2400	774.5	1 938.3	1 491.0
	1	696.85	2159.2	2300	742.3	1 857.5	1 428.9
	6	241.12	747.1	840	271.1	678.4	521.9
	5	406.90	1260.8	1350	435.7	1 090.3	838.7
V	4	547.09	1695.2	1800	580.9	1 453.7	1 118.3
ř	3	650.62	2016.0	2100	677.7	1 696.0	1 304.6
	2	752.79	2332.6	2400	774.5	1 938.3	1 491.0
	1	698.43	2164.1	2300	742.3	1 857.5	1 428.9

Valorile de calcul ale rezistenței dispozitivelor BRB (N_{Rd}) pentru structurile proiectate variază într-o plajă largă: de la 136 kN la 839 kN. Aceasta face dificilă selectarea unor capacități tipice ale BRB-urilor pentru programul experimental de precalificare, deoarece prototipurile trebuie să aibă capacități similare cu specimenele experimentale utilizate la precalificare. Totuși, AISC 341 (2010) prevede ca rezistența dispozitivului BRB încercat experimental în scopul calificării acestuia trebuie să fie cuprinsă într-un interval de 50% - 120% din rezistența prototipului. Aplicând acest principiu unor BRB-uri cu capacitatea de calcul N_{Rd} de 300 kN, respectiv 700 kN, rezultă că se poate acoperi o plajă de capacități ale prototipurilor cuprinse între 150 kN și 360 kN, respectiv 350 kN și 840 kN. Cumulat, pentru ambele capacități, rezultă o plajă de 150 kN – 840 kN, ceea ce acoperă aproape în totalitate plaja de capacități necesare (136 kN - 839 kN). În consecință, au fost selectate două capacități ale specimenelor experimentale: 300 kN și 700 kN.

Tabelul 10. Valorile de calcul ale capacității specimenelor (N_{Rd}) , limitele inferioare $(N_{Rd,inf})$ și cele superioare $(N_{Rd,sup})$ ale rezistențelor calificate.

N _{Rd} , kN	$N_{Rd,inf}$, kN [0.5x N_{Rd}]	$N_{Rd,sup}$, kN [1.2x N_{Rd}]
300	150	360
700	350	840

Miezul de oțel al diagonalelor BRB este în general construit cu un număr de reduceri ale secțiunii, al căror scop este de a proteja conexiunea. În acest fel răspunsul inelastic este dirijat către secțiunea critică, mai mică a miezului. Pentru predimensionarea diagonalelor s-a considerat o alcătuire cu o zonă centrală redusă mărginită de două zone de capăt (cu secțiune mărită) și zonele de tranziție către acestea (vezi Figura 8).



Figura 8. Schema de principiu a miezului de oțel a unei diagonale cu flambaj împiedicat

Rigiditatea necesară a diagonalelor rezultă din condiția de respectare a driftului de nivel la starea limită de serviciu (SLS), de 0.0075h. Valorile efective ale rigidităților diagonalelor sunt estimate pe baza geometriei acestora, sub forma $K_{eff} = \gamma \cdot k_{redus}$.

$$\gamma = \left(\frac{L_{red}}{L_{br}} + \sum_{j=1}^{t} \frac{A_{red}}{A_j} \cdot \frac{L_j}{L_{br}}\right)^{-1}$$

Unde, *t* reprezintă numărul total de zone diferite ale miezului BRB-ului, L_j și A_j lungimea și secțiunea fiecărei zone, iar L_{red} și A_{red} reprezintă lungimea și aria secțiunii plastice. L_{br} este lungimea interax a diagonalei.

$$k_{redus} = (EA_i)/L_{br}$$

 k_{redus} reprezintă rigiditatea secțiunii reduse cu lungimea întreagă a diagonalei (așa cum este modelată în programul de calcul). γ este factorul de corecție al secțiunii diagonalei în programul de calcul pentru a obține rigiditatea echivalentă a BRB-ului. Rigiditatea zonelor de prindere și a guseelor se neglijează, considerându-se în mod simplificat complet rigide.

Rigiditățile necesare calculate și rigiditățile efective estimate ale diagonalelor sunt sintetizate pentru direcția X și pentru direcția Y a structurii BLO7 în Tabelul 11. Valori similare au rezultat pentru celelalte structuri. După cum se poate observa, condiția de rigiditate impune un factor de corecție a rigidității contravântuirii (γ) egal cu aproximativ 1.8. Această valoare va sta la baza stabilirii geometriei BRB-urilor ce urmează a fi precalificate.

Tabelul 11. Valorile necesare și efective ale rigidității BRB-urilor de la structura BL07.

Direcția	Nivel	K _{nec} (N/mm)	γ	k _{redus} (N/mm)	K _{eff} (N/mm)	K_{eff}/K_{nec}
х	3	58 140.8	1.841	36 845.0	67 823.0	1.167
	2	87 268.1	1.913	58 337.9	111 591.1	1.279
	1	97 464.1	1.945	67 549.1	131 415.9	1.348
Y	3	58 061.5	1.841	36 845.0	67 823.0	1.168
	2	87 012.7	1.913	58 337.9	111 591.1	1.282
	1	97 693.2	1.945	67 549.1	131 415.9	1.345

2.4 Sinteza informației existente despre performanța și proiectarea dispozitivelor BRB

Contravântuirile cu flambaj împiedicat (BRB) se regăsesc în literatura de specialitate sub diverse denumiri: "Buckling-Restrained Braces"-BRB, "Unbonded Braces"-UBB, "Buckling Inhibited Braces"-BIB. BRB-urile sunt elemente disipative pasive de tip histeretic, cu proprietăți îmbunătățite față de contravântuirile clasice, prin utilizarea a două sisteme distincte decuplate printr-un strat neaderent. Sistemul de bază este alcătuit dintr-un miez de oțel care absoarbe încărcarea și prin curgerea materialului disipează energia seismică. Sistemul secundar este un mecanism de împiedicare a flambajului inimii, îmbunătățind comportarea la compresiune a contravântuirii. Noul sistem hibrid (BRB), este caracterizat, d.p.d.v. al performanței, prin capacitatea acestuia de a avea același comportament atât la compresiune cât și la întindere, având o comportare ductilă și histeretic stabilă (vezi Figura 9).



Figura 9.Definiții ale BRB: mecanică (st.), de performanță (dr.) (Sabelli și Lopez, 2008)

Un element BRB standard este alcătuit, la nivel de concept, dintr-un miez de oțel introdus într-o teacă de oțel umplută cu mortar sau beton. O interfață neaderentă (material neaderent sau un mic gol) înfășoară miezul în vederea decuplării transferului de forțe axiale de la miez la mecanismul de împiedicare a flambajului și permite deformarea acestuia la compresiune sub fenomenul Poisson (vezi Figura 10). Din curba caracteristică forță-deplasare se poate observa că BRB-urile prezintă o suprarezistență la compresiune, datorită interacțiunii dintre miezul de oțel și mecanismul de împiedicare a flambajului (vezi Figura 10).



Figura 10. Schemă conceptuală a unei contravântuiri cu flambaj împiedicat. Relația caracteristică forță-deplasare (Sabelli și Dean, 2013).

2.4.1 Dispozitive BRB "convenționale"

BRB-urile "convenționale" constau într-un miez de oțel introdus într-o teacă de oțel umplută cu mortar și o interfață neaderentă (material neaderent sau un mic gol) (vezi Figura 11) ce înfășoară miezul în vederea decuplării transferului de forțe axiale de la miez la mecanismul de împiedicare a flambajului și permite deformarea acestuia la compresiune sub fenomenul Poisson.



Miezul de oțel poate fi sub formă compactă (dreptunghiulară, circulară ș.a.), dar și sub forma unui profil (cruciformă, inelară, profil dublu T ș.a.) (vezi Figura 12). Secțiunile compacte prezintă un răspuns ciclic mai favorabil și o rezistență la oboseală mai mare, datorită absenței flambajului local al elementelor componente (vezi Figura 13) și a absenței sudurilor (tensiuni remanente) dintre piesele ce formează miezul.





Figura 13. Flambajul local al secțiunilor de miez compuse (Zhao et al. 2014)

Profilul longitudinal al miezului este alcătuit din trei segmente:

- 1. Un segment împiedicat, disipativ reprezentând zona de curgere, (Lc), unde au loc majoritatea deformațiilor plastice și elastice.
- 2. Un segment împiedicat, nedisipativ zona de tranziție, (Lt);
- 3. Un segment liber, nedisipativ zona de capăt (de îmbinare), (Lj).



Figura 14 Profilul miezului (Tsai et al., 2004)

Recomandări pentru stabilirea lungimii segmentului disipativ Lc:

- $L_c = 0, 5...0, 8 x L_{nod-nod}$, (Sabelli și Lopez, K2-2008);
- Lc limitat inferior de valoarea deformațiilor specifice axiale dezvoltate în miez, (*E_{max,tests}≤3,00%* Lopez și Sabelli, 2004);

- $\mathcal{E}_{\max,BRB} = 2,0 \cdot \Delta_{bM} / L_c \le \mathcal{E}_{test}$, (Lopez și Sabelli, 2004, 2008)
- $-2,50 \le \varepsilon_{average,tests} \le -1,50\%$ (Daniels și Saxey, N34A-2014)
- Δ_{bM} deformarea axială a BRB-ului corespunzând deplasării relative de nivel de proiectare.
- Lc limitat superior de condiția satisfacerii cerințelor de rigiditate axială globală a BRB-ului, K_{BRB} (verificarea deplasărilor relative de nivel a structurii).
- Spațiul dintre miez și mortar va fi dimensionat astfel încât să permită miezului să se deformeze la compresiune sub efectul Poisson și să atingă moduri superioare de flambaj (rezistență la compresiune mai mare).

Zona de tranziție va fi dimensionată să lucreze pe toată durata de exploatare în domeniul elastic. La începutul zonei se va prevedea un spațiu de rezervă necesar deplasării miezului la compresiune (vezi Figura 15). Suprafețele zonelor Lc și Lt vor fi tratate cu material neaderent, în vederea decuplării transmiterii eforturilor axiale de la miez la mortar (vezi Figura 16).



Figura 15.Detalii BRB clasic: Dispunerea unui strat de polistiren la capătul zonei de tranziție (a); Facilitarea expansiunii laterale (b) (Tremblay et al. 2006).



Figura 16. Aplicarea de material neaderent pe zonele Lc și Lt (Tsai, 2013).

Secțiunile BRB tipice prezintă un singur miez de oțel introdus într-un mecanism de împiedicare a flambajului. În ultima perioadă, au apărut BRB-uri cu mai multe miezuri din oțeluri diferite. Acestea din urmă prezintă o redundanță superioară și reduc considerabil dimensiunea îmbinării față de BRB-urile cu un singur miez.



Figura 17. Secțiuni BRB cu un miez (Zhao et al. 2014, Tsai et al., 2013, 2004, Nagao et al. 1992)

Pentru realizarea miezului se recomandă utilizarea oțelurilor ductile cu limita de curgere cuprinsă între 262 MPa și 317 MPa (Robinson și Black, N34-2011). Chen et al., 2001a, a studiat comportarea a patru contravântuiri identice, având miezul alcătuit dintr-un oțel cu limită de curgere foarte joasă (fy=100MPa), cu platou de curgere nu foarte bine definit, dar cu deformație specifică ultimă >50%.

Acest tip de oțel conferă posibilitatea BRB-ului de a intra în curgere la deplasări relative de nivel mult mai reduse. Autorul a remarcat rezistența maximă la întindere mult mai mică decât cea la compresiune, iar de aici recomandarea de a nu se utiliza acest tip de BRB-uri în configurații tip V întors. De-a lungul anilor, în cadrul testelor s-au utilizat și alte tipuri de oțel. De remarcat BRB-urile având miez din oțelul LYS-100 care au disipat cea mai mare cantitate de energie indusă.

Cercetător	Tip oțel	fy (MPa) (8-16mm)	fu (MPa)
Watanabe et al., 1989	JIS Grade SM490	205	400-510
Chen și Lu, 1990	ASTM A36	250	400-500
Clark et al., 2000	JIS Grade SM 490A	325	490-610
Chen, 2001	LYS-100	86	253

Tabelul 12. Diverse oțeluri utilizate în cadrul testelor pe BRB (Chen, 2001)



Figura 18. Conceptul de UBB hibrid: alcătuire (st.); curba pushover (dr.) (Atlayan și Charney, 2014)

Nippon Steel a fost primul dezvoltator de BRB-uri cu miez alcătuit din oțeluri diferite (vezi Figura 18), punând în aceeași secțiune oțeluri cu limită de curgere joasă (LYP-100) și ridicată (WT780) (Sugisawa et al., 1995) (vezi Figura 18). Testele efectuate pe acest tip hibrid de BRB-uri au scos în evidență o creștere a capacității de disipare a energiei, datorită intrării rapide în curgere (ε≤0,20%) a oțelului LYS-100.

StarSeimic a dezvoltat un sistem hibrid de BRB-uri propriu (H-BRB), ce constă în utilizarea unei secțiuni cu mai multe miezuri, ca în Figura 19. Miezurile sunt alcătuite din oțeluri cu rezistențe diferite, dispuse în vederea obținerii unui element BRB cu proprietăți îmbunătățite. Sistemul hibrid BRB (H-BRB) utilizează oțel LYP-100, care are limită de curgere foarte joasă, în vederea intrării în curgere a H-BRB-ului la deplasări relative de nivel foarte mici (SLS), dar, totodată, utilizează și oțel de înaltă rezistență pentru satisfacerea cerințelor de rezistență și ductilitate în caz de seism major (SLU).



Figura 19. Conceptul de BRB hibrid: alcătuire generală(a.); dispunerea miezurilor din oțeluri diferite în secțiune (b.) (Atlayan și Charney, 2014)



Figura 20. Interfețe neaderente: materiale testate (st.), rezultatele obținute (mij.), răspunsul ciclic al specimenului având cauciuc de silicon de 2 mm (dr.) (Tsai și Lai 2002)

Interfața neaderentă a fost intens cercetată în vederea identificării unui material care să inducă forțe minime de frecare, cu implicații asupra suprarezistenței la compresiune (factorul β). Tsai și Lai, 2002, au testat zece BRB-uri identice d.p.d.v. geometric, parametrul variabil fiind materialul de interfață. Aceștia au ajuns la concluzia că interfața din cauciuc de silicon de 2 mm a indus cea mai mică forță de frecare în sistem (vezi Figura 20). S-au propus și alte materiale neaderente: cauciuc (Iwata et al, 2000; Staker și Reaveley, 2002), folie de polietilenă (Tremblay et al., 1999), vaselină de silicon (Chen et al., 2001a), bandă de mastic (Watanabe et al., 1988). În România, Bordea et. al, 2010, a testat trei materiale de interfață (polietilenă, cauciuc și carton bituminat). Rezultatele încercărilor au arătat că BRB-urile cu folie de polietilenă au avut un comportament mai favorabil. Tsai et al. 2002 atrage atenția asupra compatibilității deformațiilor dintre miezul de oțel și materialul de interfață, indicând utilizarea de materiale elastice, care pot suferi deformații de $\pm \Delta_{ultim, miez}$. În cazul în care se utilizează diverse substanțe pentru lipirea interfeței neaderente de miez, acestea trebuie să fie capabile să dezvolte forțe de aderență mai mari decât forțele de frecare ce iau naștere ca urmare a flambajului miezului și frecării acestuia de pereții exteriori sub solicitarea de compresiune.

Cedarea materialului aderent duce la glisarea liberă a mecanismului de împiedicare a flambajului. Acest aspect este critic pentru BRB-urile dispuse vertical, solicitate ciclic (seism, vânt), deoarece întreg mecanismul de împiedicare a flambajului se poate deplasa în jos, oprindu-se în guseu, iar miezul nu va mai fi împiedicat să flambeze pe zona rămasă liberă. Din această cauză, se recomandă prevederea unui mecanism de împiedicare a glisării, spre exemplu:

- Utilizarea de opritori de tip conector, sudați pe miez la Lc/2. Această soluție introduce tensiuni locale remanente în miez datorate sudurii, ducând la o predispunere la cedare prematură a zonei de inserare a conectorului.
- Utilizarea de opritori sub formă de îngroșare a lățimii secțiunii miezului în zona de mijloc (Lc/2), vezi Figura 21. Se realizează astfel o împănare a zonei centrale a miezului în stratul de mortar.
- Conectarea tubului exterior de miez la un capăt, celălalt fiind lăsat liber să se deplaseze.
 Tremblay et al. a constatat o zdrobire locală importantă a betonului din capătul liber.



Figura 21. Opritori de tip îngroșare a miezului ((st.) Chen et al., 2001a, (dr.) Lai și Tsai, 2004)

Utilizarea opritorilor duce la o repartizare mai uniformă a buclelor de flambaj. Încercările au arătat că BRB-urile cu opritori prezintă o rezistență la oboseală oligo-ciclică mai mare decât cele fără (Usami et al., 2011).

Materialul introdus în tubului metalic poate fi beton armat (Nagao et al.1992), beton armat cu fibre (Horie et al., 1993), beton de înaltă rezistență (Bordea et al.2010), beton autocompactant (Lin și Tsai, 2003), mortar de ciment (Kimura et al., 1979), nisip (comprimat) (Higgins și Newell, 2002). Lin și Tsai, 2003, recomandă utilizarea betonului autocompactant din motive de eficiență economică.

Wei și Tsai, 2008, au propus formule matematice pentru determinarea modulului de elasticitate sau a rezistenței la compresiune a betonului, pentru un anumit tip de oțel, ASTM A572 Grade 50 (dar nu numai), ca funcții ale rapoartelor dintre: lățimea miezului (w) și înălțimea stratului de beton măsurat de la tub la miez (h), w/h, lățimea (w) și grosimea miezului (t), w/t:

$$E_c \geq 18000(\frac{w}{h})^3 \cdot (\frac{w}{t}) \text{ or } f_c \geq 1.44(\frac{w}{h})^6 \cdot (\frac{w}{t})^2$$

Aceeași autori au testat BRB-uri identice ca geometrie, dar umplute cu betoane de clase diferite, din care a rezultat ierarhizarea cedărilor specimenelor funcție de rezistența la compresiune a betonului. Autorii subliniază că pentru a compensa faptul că un strat de beton este mai subțire, este necesară o rezistență mai mare a acestuia.

Wakabayashi et al., 1973, recomandă prevederea unui mic spațiu de expansiune între miez și materialul de umplutură datorită deformațiilor transversale ale miezului solicitat la compresiune (efectul Poisson) și atingerii modurilor superioare de flambaj. Dimensiunea spațiului de expansiune este o funcție de deformația specifică maximă. În calcul, se va considera valoarea coeficientului lui Poisson egală cu 0,3 în elastic și 0,5 în plastic.

Odată fixată secțiunea miezului, se poate trece la dimensionarea tubului exterior. Acesta se va dimensiona din condiția evitării flambajului global al BRB-ului. Această condiție se traduce ca un raport supraunitar între rezistența elastică de flambaj a tubului exterior, P_e , și rezistența la curgere a miezului, P_y . Prin luarea în considerare a suprarezistenței la compresiune (30%) și după reducerea rezistenței cu 15% se ajunge la formula propusă de Watanabe et al., 1988:

$$\frac{P_e}{P_y} \ge 1,5$$

unde $P_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sc}}{L_{sc}^2}$, E - modulul de elasticitate al oțelului din tubul exterior; I_{sc} - momentul de

inerție al tubului exterior; L_{sc} - lungimea contravântuirii măsurată între nodurile de intersecție cu axele elementelor alăturate.

Proiectarea BRB-urilor va avea în vedere evitarea cedărilor neductile:

- Cedarea mecanismului de împiedicare a flambajului. Se va aplica formula lui Watanabe et al., 1988, Pe/Py ≥ 1,5.
- Cedarea îmbinărilor contravântuirii datorită flambajului lateral al guseului. Îmbinarea se va dimensiona la forța maximă de compresiune dezvoltată de BRB, amplificată cu un factor egal cu 1,1 (P100-1/2013). Guseul va trebui să satisfacă condiția (Nakamura et al., 2000):

$$P_{e,trans} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{trans}}{\left(K \cdot L_b\right)^2} \ge C_{\max}$$

unde: I_{trans} - momentul de inerție al secțiunii miezului la fața exterioară a capacului (prima secțiune a zonei de îmbinare); K - factorul lungimii efective de flambaj (luat conservativ =1,0); L_b - lungimea îmbinării; C_{max} - forța maximă la compresiune a BRB-ului.

BRB-urile proiectate corect vor avea rezistențe foarte apropiate la întindere și compresiune, valoarea factorului β tinzând spre 1,0. Cazul ideal este ca β =1,0. În condițiile în care 1,0 $\leq \beta \leq$ 1,3, vom avea doua valori diferite ale rezistenței la compresiune si la întindere:

- Rezistența la întindere: $T_{max} = \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \cdot A$
- Rezistența la compresiune: $P_{max} = \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot f_{v} \cdot A$

În cadrul procesului de proiectare, valorile ω și β , pentru o anumită valoare ϵ , se obțin de la producătorul de BRB-uri, care deține grafice cu curbe înfășurătoare obținute prin testări ale specimenelor BRB în laborator.

Rigiditatea efectivă a BRB-ului se determină ca sumă a rigidităților segmentelor componente (sumă de rigidități de resoarte dispuse în serie pentru BRB-uri cu un miez; sumă de rigidități de resoarte dispuse în serie și paralel pentru BRB-uri cu mai multe miezuri) (Tsai et al., 2004):

$$K_{eff} = \frac{1}{\frac{L_c}{E \cdot A_c} + \frac{2 \cdot L_t}{E \cdot A_t} + \frac{2 \cdot L_j}{E \cdot A_j}} = \frac{E \cdot A_j \cdot A_c \cdot A_t}{A_j \cdot A_t \cdot L_c + 2 \cdot A_c \cdot A_t \cdot L_j + 2 \cdot A_c \cdot A_j \cdot L_t}$$

În cadrul analizelor elastice se utilizează un coeficient supraunitar de amplificare a rigidității zonei disipative, Kf. Acest coeficient variază funcție de geometria miezului, dar și de tipul îmbinării.

$$K_{\scriptscriptstyle BRB} = K_f \cdot \frac{E \cdot A_c}{L_{\scriptscriptstyle nod-nod}}$$
 , unde $K_f = 1, 2...2, 0$.

Determinarea rigidității optime a BRB-ului va avea în vedere satisfacerea verificări deplasărilor relative de nivel, dar și evitarea unor valori mari ale deformației axiale specifice, $\mathcal{E}_{h \max} = 1...2\%$.

2.4.2 Dispozitive BRB "uscate"

Soluțiile BRB uscate au apărut ca o alternativă la soluția clasică ("umedă") din dorința reducerii greutății acestora (Tinker și Dusicka, 2012); manipulării și asamblării mai ușoare pe șantier; eliminării timpilor tehnologici de producție necesari turnării și uscării mortarului; eliminării costurilor aferente producerii și turnării mortarului în teacă cu repercusiuni asupra costului total de producție (Tremblay et al., 2006); verificării vizuale a miezului după un seism (Tsai et al., 2004 a-b), posibilității de demontare și înlocuire a miezului in situ (Mazzolani et al., 2009); instalării în pereții clădirilor existente facilitată de forma compactă a BRB-ului "uscat" (D'Aniello et al., 2009).

BRB-urile "uscate" au fost cercetate de către Chen et al.,2001b, , Murase et al., Ma et al., Nashira et al., Fukuda et al., Tsai et al., 2004 a-b, Chou și Chen, 2009, Mazzolani et al., 2005-2009, D'Aniello et al., 2009, Zhao et al., 2011, Hoveidae și Rafezy, 2012, Tinker și Dusicka, 2012 ș.a.

BRB-urile "uscate" sunt alcătuite, principial, dintr-un miez de oțel introdus într-o teacă de oțel. Transferul de forțe axiale de la miez la teacă este minimizat prin dispunerea unui material de interfață sau un mic gol. Se remarcă absența mortarului.



Figura 22. BRB "uscat" – alcătuire de ansamblu (Usami et al., 2011).

În decursul anilor s-au testat mai multe geometrii de miezuri (vezi Figura 23). Comportări ciclice stabile, cu valori mici ale factorului β, au arătat miezurile cu geometrie compactă. Miezurile tip profil

au arătat interacțiuni mai pronunțate cu sistemul de împiedicare a flambajului datorită forțelor de frecare aplicate pe o arie mai mare.



Figura 23. Secțiuni tipice de miez ((a)-((e)) Zhao et al. 2014, (f), (g) Tsai et al. 2013)

Profilul longitudinal al miezului BRB-ului "uscat" prezintă aceleași trei zone caracteristice: zona disipativă, Lc, zona de tranziție, Lt, și zona de îmbinare, Lj.



Figura 24. Secțiuni BRB "uscate" cu un miez (Zhao et al. 2014, Tsai et al., 2013, 2004, Nagao et al. 1992, Tinker și Dusincka, 2011, Usami et al., 2011)

Alcătuirea de ansamblu a BRB-urilor "uscate" este influențată de modul de asamblare al părților componente ale BRB-ului (vezi Figura 24). În funcție de acest aspect, se disting două tipuri de BRB-uri "uscate":

- BRB-uri detaşabile (Mazzolani et al., 2009; Tsai şi Lin, 2003; Usami et al., 2011), la care asamblarea se face cu îmbinări cu şuruburi şi permite interschimbarea miezului în caz de plasticizare, sistemul de împiedicare a flambajului rămânând acelaşi. Se pot prevedea spații laterale pentru inspecția vizuală a miezului (Mazzolani et al., 2009; Tsai şi Lin, 2003).
- BRB-uri nedetaşabile (Tsai şi Lin, 2003), la care asamblarea părților componente se face prin sudare. În acest caz schimbarea miezului duce şi la schimbarea sistemului de împiedicare a flambajului.

Cercetările relativ recente aduc în prim plan un nou tip de BRB-uri la care lungimea zonei de disipare, Lc, este redusă (Lc/L=20...40%), numite "Ruduced Length BRB", RL-BRB (Razavi et al., 2011, Shemshadian et al., 2011b, Ma et al., 2008, Tremblay et al., 2006).

Miezul, în majoritatea aplicațiilor BRB-urilor "uscate", este alcătuit din oțeluri structurale, cu limită de curgere, fy, cuprinsă între 200 MPa și 400 MPa , având un palier de curgere distinct și o rezistență ultimă, fu, mai mare cu cel puțin 20%. Diverși autori (Chen, 2001-b, Ou și Li, 2012)) recomandă utilizarea oțelurilor cu limită de curgere joasă în vederea disipării unei cantități mai mare de energie prin intrarea în curgere a oțelului la deformații specifice mult mai mici (0,05% - oțel Q100, 0,2% remanent – oțel LYS100). Autorii recomandă utilizarea acestei soluții în cadrul structurilor de beton armat (reabilitări/construcții noi) care fisurează la deplasări relative de nivel mici; în cadrul structurilor cu solicitări considerabile din acțiunea vântului. Cercetările recente propun ca material alternativ pentru realizarea miezului, un aliaj pe bază de aluminiu, în vederea reducerii greutății de ansamblu a BRB-ului (Wang et al., 2012, Tinker și Dusicka, 2012).

Sistemul de împiedicare a flambajului nu prezintă cerințe speciale în vederea alegerii clasei oțelului. Oțelurile structurale sunt utilizate fără restricții: A36 (Wu et al., 2012), Q235 (Ou și Li, 2012), STKR-400 și SS-400 (Iwata et al., 2000). Pentru soluțiile alternative din aluminiu, Wang et al., 2012, propune ca și material pentru teacă A6061S_T6. Tinker și Dusinka, 2012, au cercetat analitic un sistem de împiedicare a flambajului alcătuit din patru profile pultrudate FRP, înfășurate cu o țesătură din fibre polimerice, în vederea reducerii greutății BRB-ului.



Figura 25. ULW-BRB (Tinker și Dusicka, 2012)

În cadrul soluțiilor BRB "uscate", interfața neaderentă poate fi reprezentată printr-un strat de material neaderent sau printr-un mic gol (0,7...3,5mm (D'Aniello et al., 2007)). Deoarece procesul de fabricație este integral uscat (eliminarea mortarului), unii cercetători (Tsai et al., 2004) au propus eliminarea stratului de material neaderent și prevederea în locul acestuia a unor mici goluri pentru a permite expansiunea miezului comprimat (fenomenul Poisson) și atingerea modurilor superioare de flambaj, cumulată cu reducerea forțelor de frecare. Cercetările efectuate de D'Aniello et al., 2007, 2014, pe BRB-uri "uscate" detașabile, au arătat că grosimea optimă a golului este de 2 mm, valorile sub 1mm (0mm, 0,5mm) ducând la forțe de frecare mari și cedări de element prin flambaj global, iar valori peste 2mm (3mm) au dus la presiuni mari pe teacă, forțând prinderile cu șuruburi din zona disipativă. Grosimi de 1-2mm sunt indicate în cercetările lor și de Wang et al., 2012, Tsai et al., 2009.

Iwatta et al., 2000, a testat patru tipuri de BRB-uri, dintre care trei în soluție "uscată". Interfața neaderentă a constat într-un spațiu de 1mm pentru secțiunile (b) și (d), iar pentru secțiunea (c) un strat de cauciuc moale de 1mm grosime. Rezultatele testelor au scos în evidență o comportare histeretică slabă a elementelor cu secțiune fără material neaderent, (b) și (d). Cedarea s-a produs prin fisurarea miezului, survenită pe fondul concentrării deformațiilor plastice în miez ca urmare a flambajului local al acestuia. Elementul cu secțiunea (c), a avut o comportare superioară datorită lipsei concentrării deformațiilor (vezi Figura 26). În acest caz, flambajul local al miezului este controlat prin dimensionarea optimă a grosimii stratului de material neaderent dispus perpendicular pe direcția axei slabe a miezului.

Din literatura de specialitate putem sintetiza următoarele materiale utilizate ca interfață neaderentă: folie de polietilenă (Razavi et al., 2012), cauciuc moale (Iwatta et al., 2000).



Figura 26. BRB-uri în soluție "uscată" (b), (c), (d), și în soluție clasică (a) (Iwatta et al., 2000)

2.5 Proiectarea structurii model necontravântuite (ML16)

Date generale despre structură:

- Amplasament: București
- Regim de înălțime: parter + 2 etaje (3 niveluri)
- Înălțime totală: H = 10.50 m



Figura 27. Schema spațială a structurii.

Figura 28. Planul structurii.

Schema spațială a structurii este prezentată în Figura 27. Planșeul din beton armat (b.a.) pe cofraj pierdut din tablă cutată reazemă pe un sistem de grinzi secundare și principale articulate, realizate în soluție compusă oțel-beton. Sistemul de preluare a încărcărilor laterale este compus din cadre necontravântuite dispuse perimetral pe direcția X în axele 1 și 6 și pe direcția Y în axele A și D, vezi Figura 28 și Figura 29.

Structura a fost analizată folosind un model spațial într-un program de calcul comercial. S-a considerat efectul de diafragmă rigidă asigurat de planșeele de beton armat. Stâlpii perimetrali au fost încastrați la bază, iar stâlpii centrali au fost articulați la bază. Legăturile dintre bare (rigide/articulate) au fost modelate conform datelor din Figura 28 și Figura 29. Încărcările gravitaționale au fost aplicate pe planșee (încărcările permanente și utile) și pe grinzile perimetrale (încărcarea din pereți exteriori). Masele structurii au fost calculate automat din încărcările gravitaționale aplicate pe structură.



Secțiunile grinzilor și stâlpilor din alcătuirea cadrelor cu rol de preluare a forțelor orizontale au fost dimensionate din condiția de limitare a driftului de nivel la starea limită ultimă (ULS). Acest lucru a condus la o suprarezistență mare a sistemului structural. Ca urmare s-a redus factorul de comportare la valoarea q=3, cu păstrarea aceleiași configurații structurale și reluarea verificărilor. În urma acestor verificări a rezultat că structura posedă în continuare o rezervă confortabilă de rezistență în timp ce driftul maxim de nivel la ULS a scăzut în mod semnificativ, sub valoarea limită admisibilă. Secțiunile grinzilor secundare, ale grinzilor principale și ale stâlpilor din cadrele necontravântuite, au rezultat din combinația fundamentală de proiectare. Secțiunile finale ale elementelor structurale rezultate în urma proiectării structurii sunt prezentate în Tabelul 13.

|--|

Nivel	Grinzi articulate	Grinzi articulate	Grinzi prinse	Stâlpi	Stâlpi	Stâlpi
	secundare	principale	rigid	centrali	perimetrali 1	perimetrali 2
3	IPE 220	IPE 400	IPE 500	HE 260 B	HE 550B	HE 500 M
2	IPE 220	IPE 400	IPE 750x147	HE 260 B	HE 550B	HE 500 M
1	IPE 220	IPE 400	IPE 750x147	HE 260 B	HE 550B	HE 500 M

2.6 Coordonare, administrare, raportare și publicarea rezultatelor

Pentru coordonarea activităților desfășurate în cadrul proiectului au fost organizate două ședințe de lucru: una la București, la sediul SC Popp & Asociații SRL (P1) și alta la Timișoara, la sediul SC Hydromatic Sistem SRL (P2). Principalul rezultat al acestora a constat în stabilirea clară a sarcinilor fiecărui partener, a modului de elaborare a rapoartelor tehnice și financiare, precum și selectarea unor configurații tipice de clădiri cu înălțimea mică și medie (activitatea 1.1). În plus, s-au desfășurat mai multe întruniri bilaterale (P1-CO) la distanță, în vederea identificării unor soluții optime de proiectare a structurilor model cu BRB (activitatea 1.2) și a structurii necontravântuite (activitatea 1.5). Deoarece partenerii sunt distribuiți din punct de vedere geografic a fost configurat un sistem web de schimb de date pentru a permite stocarea centralizată a fișierelor de lucru, a draft-urilor și rapoartelor finale, a minutelor ședințelor etc.

Diseminarea a avut loc prin prezentarea proiectului în cadrul comisiei tehnice TC13 "proiectare seismică" a Convenției Europene de Construcții Metalice (ECCS - <u>http://www.steelconstruct.com/</u>), a cărei reuniune a avut loc în 07.11.2014 la Timișoara. A fost publicată și o pagină web dedicată proiectului, disponibilă la adresa <u>http://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/imser.htm</u>.

În activitatea de cercetare desfășurată în cadrul proiectului au fost implicați studenți din ciclul master și doctorat. Astfel, membri ai echipei de cercetare de la Universitatea Politehnica din Timișoara (CO) coordonează o lucrare de disertație cu titlul "Evaluarea unor soluții alternative de calcul la acțiunea seismică a cadrelor cu contravântuiri cu flambaj împiedicat", precum și o teză de doctorat cu titlul "Soluții de reabilitare seismică a structurilor în cadre din beton armat cu sisteme disipative realizate din oțel".

3 Concluzii

Raportul tehnic și științific a sintetizat activitățile desfășurate în cadrul etapei 1 / 2014 a proiectului "Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (IMSER)". Toate obiectivele asumate în planul de realizare au fost atinse. Astfel, pe baza portofoliului de lucrări elaborate de către P1 au fost selectate două configurații tipice de clădiri cu înălțimea mică și medie și s-a stabilit tema de proiectare pentru nouă clădiri model (Activitatea 1.1). Dintre acestea, în cadrul etapei I / 2014 au fost proiectate patru structuri cu contravântuiri împiedicate la flambaj și o structură în cadre necontravântuite (Activitățile 1.2 și 1.5). Pe baza acestora au fost stabilite cerințele de rezistență și rigiditate pentru două prototipuri de BRB-uri (Activitatea 1.3). În paralel, s-a efectuat o sinteză a informației existente despre performanța și proiectarea dispozitivelor BRB (Activitatea 1.4), care vor sta la baza dezvoltării unor dispozitive BRB proprii în cadrul etapei următoare. Rezultatele obținute au fost diseminate prin intermediul paginii web a proiectului și prin prezentarea proiectului în cadrul comisiei tehnice TC13 "proiectare seismică" a Convenției Europene de Construcții Metalice.

Bibliografie

ANSI/AISC 341-10 (2010). "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings". American Institute of Steel Construction;

Atlayan, O. (2013). "Hibrid Steel Frames". PhD Dissertation;

Atlayan, O. și Charney, F.A. (2012). "Hybrid Steel Frame". Virginia Technology, Blacksburg, Virginia, U.S.A.;

Black, C.J., Makris, N., Aiken, I.D. (2004). "Component Testing, Seismic Evaluation and Characterization of Buckling-Restrained Braces". Journal of Structural Engineering, ASCE, June 2004;

Bordea, S. (2010). "Dual Frame Systems of Buckling Restrained Braces". PhD Dissertation. Editura Politehnica – Timișoara, 2006;

Bruneau, M., Uang, C.M., Sabelli, R. (2011). "Ductile Design of Steel Structures".2nd Ed., The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011;

Chen, C.C. (2001 a-b). "Recent Advances of Seismic Design of Steel Buildings in Taiwan". International Trening Programs for Seismic Design of Building Structures;

Chen, C.C., Chen, S.Y., Liaw, J.J. (2001). "Application of low yield strength steel on controlled plastification ductile concertically braced frames". Canadian Journal of Civil Engineering, 28, pp. 823-836;

CoreBrace, http://www.corebrace.com/;

D'Aniello, M., Della Corte, G., Landolfo, R. (2014). "Finite element modelling and analysis of "allsteel" dismountable buckling-restrained braces". The Open Construction & Building Technology Journal;

Daniels, M. și Saxey, B. (2014). "Advances in overstrength factors for BRBs". NASCC The Steel Conference, 2014: <u>http://media.aisc.org/NASCC2014/140327-N34A.mp4</u>;

El-Bahei, S., Bruneau, M. (2011). "Buckling restrained braces as structural fuses for the seismic retrofit of reinforced concrete bridge bents". Engineering Structures 33 (2011), pp. 1052-1061;

EN 15129 Anti-seismic devices (2009);

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance;

Genna, F., Gelfi, P., (2012). "Analysis of the Lateral Thrust in Bolted Steel Buckling-Restrained Braces. II: Engineering Analytical Estimates". <u>http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29ST.1943-541X.0000564</u>;

Iwata, M. (2004). "Applications-design of buckling restrained braces in Japan". 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004;

Iwata, M., Kato, T., Wada, A. (2000). "Buckling restrained braces as hysteretic dampers". Proceedings, Quebec, Canada, pp. 33-38;

Lai, J.W. şi Tsai, K.C. (2002). "Research and Application of Buckkling Restrained Braces in Taiwan";

Lopez, W.A. și Sabelli, R. (2004). "Seismic Design of Buckling-Restrained Braces Frames". Steel Tips;

Mazzolani, F.M., Della Corte, G., D'Aniello, M. (2009). "Experimental analysis of steel dissipative bracing systems for seismic upgrading". Journal of Civil Engineering and Management, 2009, 15(1): 7-19;

Nippon Steel Engineering, http://www.unbondedbrace.com/;

P100-1 (2013): "Cod de proiectare seismică. Partea I: prevederi de proiectare pentru clădiri;

Razavi, S.A.T., Mirghaderi, S.R., Hosseini, A. (2014). "Experimental and numerical developing of reduced length buckling-restrained braces". Engineering Structures 77 (2014), pp. 143-160;

Robinosn, K. și Stocking, A.W. (2013). "Buckling restrained braces – an overview";

Robinson, K. (2009). "Specifying Buckling-Restrained Brace System";

Robinson, K. şi Black, C. (2011). "Getting the Most Out of Buckling Restrained Braces". NASCC TheSteelConference,Pittsburg,May11-14,2011:https://www.aisc.org/uploadedcontent/2011NASCCSessions/n34/;

Sabelli, R. și Lopez, W.A. (2005). "Design of buckling-restrained btaced frames";

Sabelli, R., Lopez, W.A., (2008). "Buckling-Restrained Braced Frames". NASCC The Steel Conference,
Nashville,
Tennessee,
AprilieAprilie2-5,2008:http://www.aisc.org/UploadedContent/2008NASCCSessions/K2/default.htm;

Sahoo, R.D. și Chao, S.H. (2010). "Performance-based plastic design method for buckling-restrained braced frames". Engineering Structures 32 (2010), pp. 2950-2958;

Saxey, B. și Daniels, M. (2014). "Characterization of overstrength factors for buckling-restrained braces".;

StarSeismic Europe, <u>http://www.starseismic.eu/;</u>

Sugisawa, M., Nakamura, H., Ichikawa, Y., Hokari, M., Saeki, E., Hirabayashi, R., Ueki, M. (1995). "Development of Earthquake-Resistant, Vibration Control, and Base Isolation Technology for Building Structures". Nippon Steel technical Report No. 66, July 1995;

Tinker, J. (2011). "Development of an Ultra-Lightweight Buckling-Restrained Brace Using Analytical and Numerical Methods". Master Dissertations;

Tinker, J. și Dusicka, P. (2012). "Challanges in designing ultra-lightweight buckling restrained brace". Stessa 2012 – Mazzolani & Herrera (eds), 2012 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-62105-2;

Tsai, C.S., Lin, Y., Chen, W., Su, H.C. (2009). "Mathematical modelling and full-scale shaking table tests for multi-curve buckling restrained braces". Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 8, No.3, September, 2009;

Tsai, K.C. (2013). "Buckling-Restrained Braces: Research and Implementation in Taiwan". Steel Innovation Conference, Christchurch, New Zeeland, 21-22 February, 2013;

Tsai, K.C., Lai, J.W., Hwang, Y.C., Lin, S.L., Weng, C.H. (2004). "Research and implementation of double-core buckling restrained braces in Taiwan". 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, august 1-6, 2004, Paper no. 2179;

Tsai, K.C., Lin, P.C., Wu, A.C., Chuang, M.C. (2013). "Buckling restrained braces: research and implementation in Taiwan". Steel Innovations Conference 2013, Christchurch, New Zeeland, 21-22 February 2013;

Uang, C.M. și Nakashima, M. (2004). "Steel Buckling-Restrained Braced Frames". Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering, Chapter 16, Y. Bozorgnia and Bertero, (eds.) CRC Press, Boca Raton, Fl;

Usami, T., Wang, C., Funayama, J. (2011). "A numerical study on the behavior of high-performance buckling-restrained braces". COMPDYN 2011, III ECCOMAS Thematic COnference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, M. Papadrakakis, M. Fragiadakis, V. Plevris (eds.), Corfu, greece, 25-28 May 2011;

Văduva, M.G. (2013). "Utilizarea barelor disipative cu flambaj împiedicat la construcții noi și existente amplasate în zone seismice". Teză de Doctorat;

Wang, C.L., Usami, T., Funayama, J., Imase, F. (2012). "Low-cycle fatigue testing of extruded aluminium alloy buckling-restrained braces". Engineering Structures 46 (2013), pp. 294-301;

Watanbe, A., Hitomi, Y., Saeki, E., Wada, A., Fujimoto, M. (1988). "Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube". Proceedings on Ninth World Conference on Earthquake Engineering, August 2-9, 1988, Tokyo-Kyoto, Japan;

Wei, C.Y. și Tsai, K.C. (2008). "Local Buckling of Buckling Restrained Braces". The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China;

Wu, A.C., Lin, P.C., Tsai, K.C. (2012). "A Type of Buckling Restrained Brace for Convenient Inspection and Replacement";

Zhao, J., Wu, B., Li, W., Ou, J. (2014). "Local buckling behavior of steel angle core members in buckling-restrained braces: Cyclic tests, theoretical analysis, and dsign recommandations". Engineering structures 66 (2014), pp. 129-145;

Zhao, J., Wu, B., Ou, J. (2011). "A Novel type of angle steel buckling-restrained brace: Cyclic behavior and failure machanism". Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Volume 40, Issue 10, August 2011, pp. 1083-1102.