

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII CIVILE, INDUSTRIALE ȘI AGRICOLE

Studii doctorale, *Specializarea: Constructii Metalice*

RAPORT DE CERCETARE NR.I

Testarea experimentală a specimenului fără strat neaderent și prelucrarea datelor obținute - Procedura de calificare experimentală a contravântuirilor cu flambaj împiedicat -

Conducătorul lucrării de doctorat,
Prof.Univ.Dr.Ing. Șerban-Adrian Dima

Doctorand,
Drd. ing. Silviu-Cristian Ionescu-Lupeanu

București
2018

CUPRINS :

1. IMPLEMENTAREA BARELOR CU FLAMBAJ IMPIEDICAT IN ROMANIA..	3
2. DESCRIEREA STRUCTURILOR ANALIZATE	5
2.1 Descrierea structurilor.....	5
2.2 Verificarea la deplasări laterale (drift).....	7
2.2.1 Verificarea deplasărilor laterale la starea limită ultimă	7
2.3 Calculul și dimensionarea contravântuirilor cu flambaj împiedicat	8
2.4 Proiectarea cadrelor cu contravântuiri cu flambaj împiedicat	11
3. PROCEDURA DE CALIFICARE EXPERIMENTALA A CONTRAVANTUIRILOR CU FLAMBAJ IMPIEDICAT	14
3.1 Scop	14
3.2 Testarea subansabilelor	15
3.3 Testarea Specimenelor de contravântuiri.....	17
3.3 Echipamentul de incercare si masurare	18
4. SECVENTA DE INCARCARE.....	23
5. INSTRUMENTAȚIE	25
6. CERINȚE PRIVIND TESTAREA MATERIALELOR.....	31
7. VALIDAREA REZULTATELOR TESTARILOR.....	35
8. BIBLIOGRAFIE.....	36

1. IMPLEMENTAREA BARELOR CU FLAMBAJ ÎMPIEDICAT ÎN ROMANIA

În România, utilizarea contravânturilor cu flambaj împiedicat sunt reglementate în P100-1/2013 – Capitolul 6: „Cadre cu contravânturi cu flambaj împiedicat. La aceste structuri forțele orizontale sunt preluate în principal de elemente solicitate la eforturi axiale. Zonele disipative sunt situate în contravânturi, a căror alcătuire specială împiedică flambajul miezului de oțel, asigurând un răspuns ciclic stabil și cvasi-simetric. Rezultă o comportare globală superioară a cadrelor contravântuite centric clasice.”

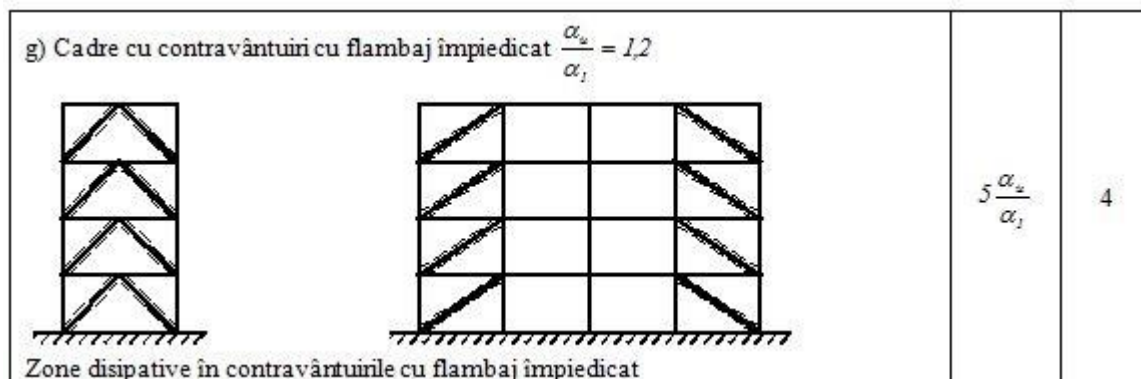


Fig. 1.1 - Factorul de comportare pentru cadre cu BRB

Deasemenea în normativul P100-1/2013 sunt prezentate următoarele criterii de proiectare pentru barele disipative cu flambaj împiedicat:

- cadrele cu contravânturi BRB trebuie proiectate astfel încat acestea să intre în curgere înainte de formarea articulațiilor plastice sau de pierderea stabilității generale în grinzi și stâlpi.

- miezul de oțel este introdus într-un sistem care împiedică flambajul și acesta trebuie calculat astfel încât să reziste la forțele axiale din contravânturi.

- contravânturile cu bare disipative cu flambaj împiedicat trebuie proiectate, executate și încercate experimental

Prinderile contravânturii și elementele adiacente se vor calcula cu ajutorul capacității corectate a contravânturii. Capacitățile corectate se determină prin încercări experimentale.

Rezistențe corectate

- la întindere: $\omega \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \cdot A = \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{pl.Rd}$

- la compresiune: $\beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \cdot A = \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{pl.Rd}$

unde:

ω =factor de corecție datorat consolidării (obținut experimental)

β =factor de corecție al capacității de compresiune (obținut experimental)

- $\omega = \frac{T_{max}}{A \cdot f_y}$ (raport între forța maximă de întindere și forța de curgere din bara disipativă)
- $\beta = \frac{P_{max}}{T_{max}}$ (raport între forța maximă de compresiune și forța maximă de întindere din bara disipativă)

P_{max}, T_{max} sunt obținute experimental pe speci­me­nele încercate pentru o valoare a deformației egală cu dublul deplasării relative de nivel de calcul

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.1)$$

unde:

A = aria secțiunii transversale a miezului de oțel

f_y = limita de curgere a oțelului

γ_{M0} = coeficient parțial de siguranță

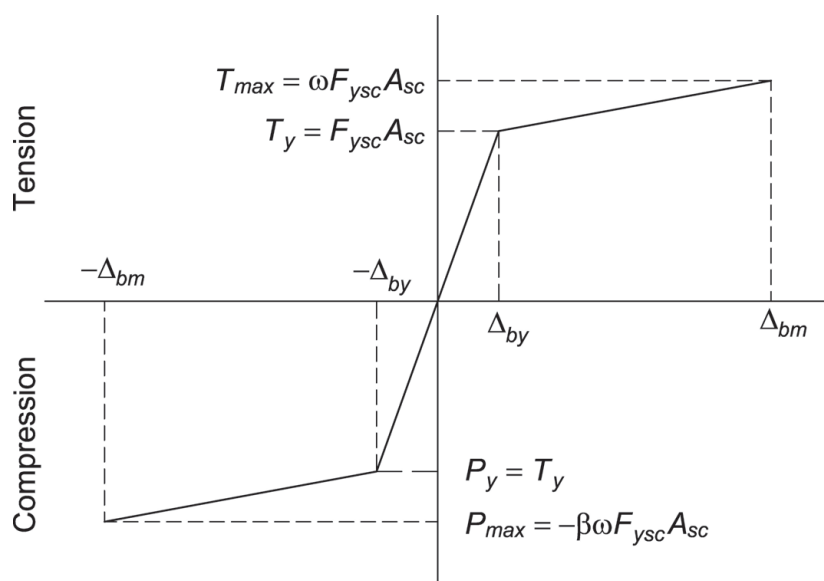


Fig. 1.2 - Comportarea barelor disipative descrisă prin curba biliniarizată

Stâlpii și grinzile se vor calcula în domeniul elastic considerând cea mai defavorabilă combinație de eforturi:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot \omega^N \cdot N_{Ed,E} \quad (1.2)$$

unde:

- $N_{Ed,G}$ = efortul axial de proiectare din acțiuni neseismice conținute în gruparea care include acțiunea seismică
- $N_{Ed,E}$ = efortul axial de proiectare din gruparea de încărcări care include acțiunea seismică

- $\omega^N = \frac{N_{pl,Rd}}{N_{Ed}}$ calculat pentru fiecare direcție a structurii și pentru a îndeplini condiția: $\beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot \omega^N < q$ (q = factorul de comportare al structurii).

Capacitatea îmbinării contravântuirilor cu elementele structurale trebuie să fie :

$$R_d \geq 1,1 \cdot \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{pl,Rd} \quad (1.3)$$

În standardul european EN15129:2009 “Tipurile uzuale de dispozitive anti-seismice” , barele disipative cu flambaj împiedicat sunt clasificate ca dispozitive dependente de deplasare (Displacement Dependents Devices – DDDs) și sunt prezentate cerințele de performanță, modalități de testare , materialele din care sunt realizate și procesul de control al calității în fabrică.

În Eurocod 3 (SR EN 1993-1-1) se găsesc relațiile de calcul pentru verificările de rezistență și stabilitate. Eurocod 8 (SR EN 1998-1-1) nu prezintă metode simplificate de proiectare pentru barele disipative cu flambaj împiedicat.

2. DESCRIEREA STRUCTURILOR ANALIZATE

2.1 Descrierea structurilor

În prezenta lucrare sunt analizate modele structurale care urmăresc scoaterea în evidență a anumitor caracteristici favorabile sau defavorabile contravântuirilor cu BRB utilizate la structurile metalice multietajate. Structurile considerate sunt configurate cu contravântuiri centrice în V inversat cu bare disipative cu flambaj împiedicat. Clădirea de bază este o clădire de birouri multietajată, amplasată în București , prevăzută cu nucleu central contravântuit și cadre perimetrice contravântuite centric (fig.2.1).

Structura analizată este compusă din 6 deschideri de 8.10m și 5 travei de 8.10m. Înălțimea de nivel este 3.50m, structurile considerate având între 5 (P+4) și 15 niveluri (P+14). Oțelul utilizat este S355 (cf. [12] SR EN 10025-2/2004).

Pentru dimensionarea elementelor structurale au fost folosite relațiile de verificare din [5] Eurocod 3 , *Proiectarea structurilor de oțel – Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri*. Dimensionarea sistemelor de contravântuire s-au realizat respectându-se aceeași valoare a încărcării seismice de proiectare și cu respectarea prevederilor cuprinse în codul de proiectare seismică românesc: [4] P100-1/2013, *Cod de proiectare seismică – Partea 1: Prevederi de proiectare pentru clădiri* dar și prevederile cuprinse în [6] Eurocod 8, *Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur – Partea 1: Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri* .

Pentru fiecare model în parte s-a urmărit crearea unui mecanism plastic global favorabil de disipare a energiei induse în structură de către seism.

Stalpii utilizați la structurile analizate au avut secțiuni transversale de tip “cruce de malta” iar grinzile principale și secundare de tip “I (dublu – T) “. Diagonalele au fost prevăzute cu BRB, cu secțiuni transversale dreptunghiulare.

În figura 2.1 seste prezentata conformarea in plan a modelelor de calcul studiate:

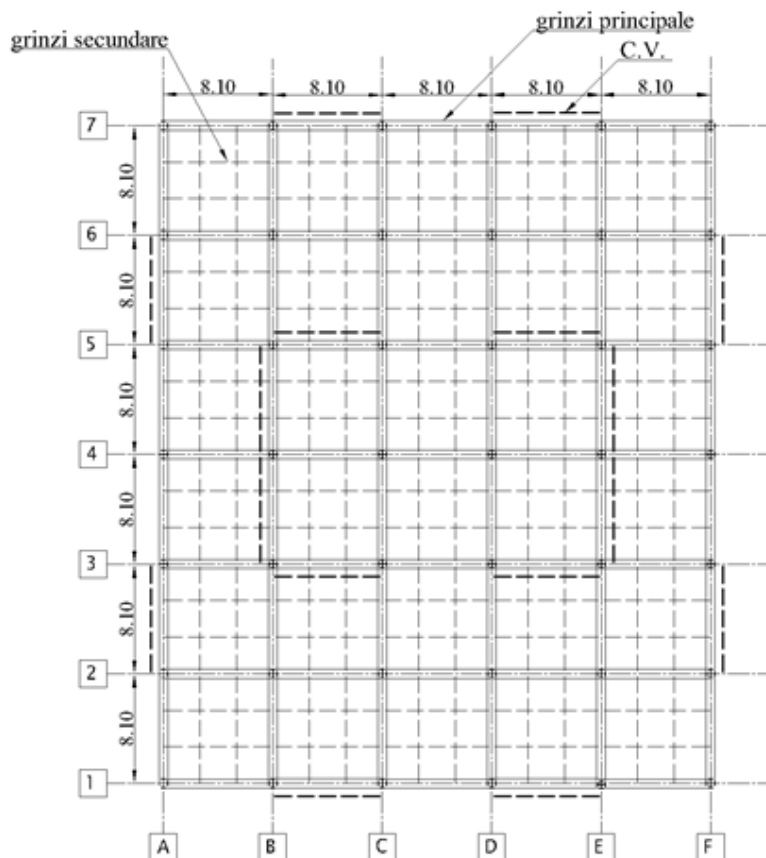


Fig. 2.1 – Plan structuri considerate

Pentru proiectarea contravântuirilor cu flambaj împiedicat s-au urmat regulile de proiectare la capacitate. Barele disipative atribuite pentru fiecare contravântuire în parte sunt aproximativ egale cu raportul dintre forța de compresiune necesară și $0,9 \cdot f_y$, astfel secțiunile pot fi ușor modificate pentru a putea îndeplini condițiile de rezistență și drift.

Procesul de proiectare pentru barele disipative cu flambaj împiedicat la sistemele cu ductilitate înaltă este următorul:

- calculul forței tăietoare de bază a structurii, luând în considerare un factor de comportare mediu $q=4$ (DCM – conf. P100-1/2013) sau ridicat $q=6-7$ (DCH)
- analiza structurală: determinarea rezistenței și rigidității necesare elementelor
- proiectarea elementelor nedisipative: grinzi, stâlpi
- pentru verificarea structurii se realizează analiză static neliniară (analiză pushover) și se fac verificările conform cu proiectarea pe baza spectrelor de capacitate: verificarea capacității elementelor pentru nivelul deplasării țintă și a deformațiilor maxime pentru contravântuiri.

- obținerea rezistenței și rigidității necesare a contravânturilor cu flambaj împiedicat .
- echiparea structurii cu contravânturi cu flambaj împiedicat
- reproiectarea elementelor nedisipative din structurile alese
- reluarea analizei neliniare (pushover) pentru verificarea finală a structurii pe baza spectrelor de capacitate.

Grinzile, stâlpii și contravânturile cu flambaj împiedicat au fost proiectate la nivelul maxim de încărcare ce poate apărea în timpul cutremurului de cod deosemena ținându-se cont și de factorul de suprazistență.

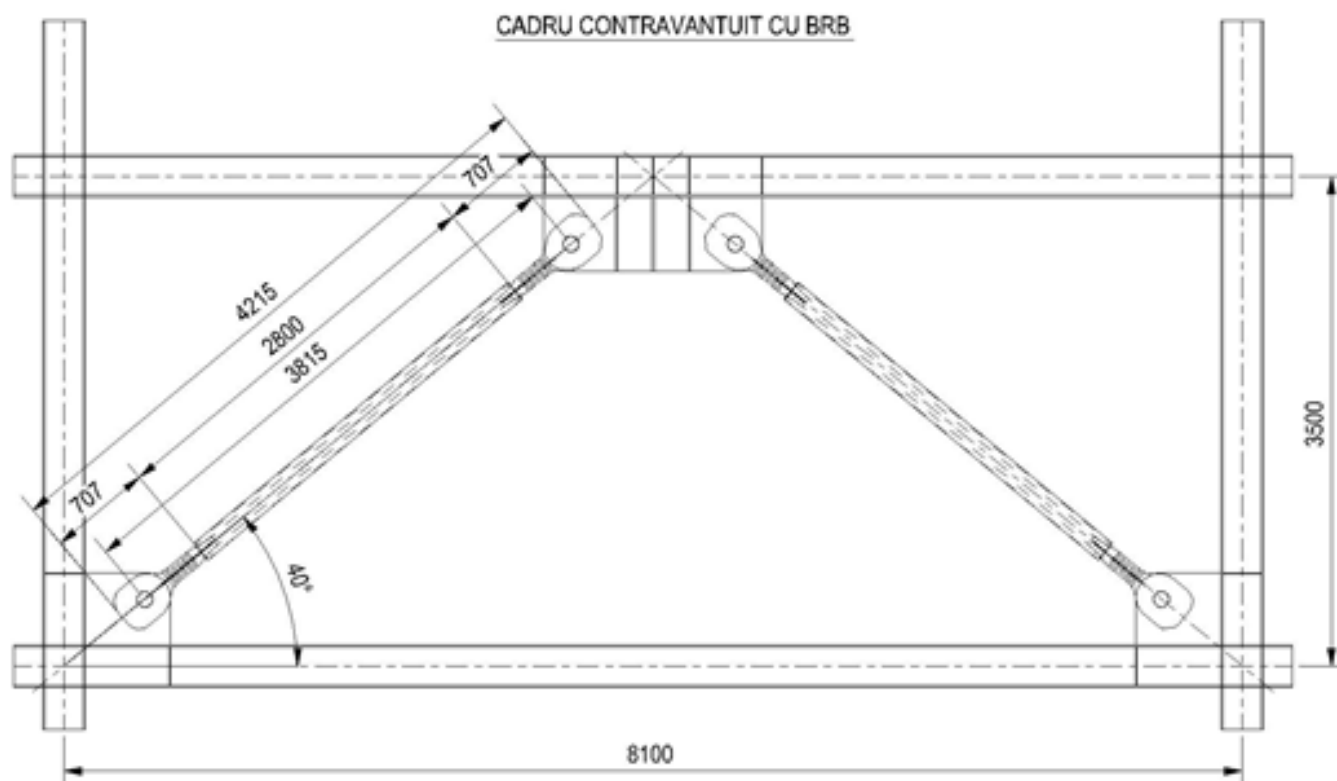


Fig. 2.2 – Cadrul contravântuit cu BRB din modele de calcul considerate

2.2 Verificarea la deplasări laterale (drift)

Verificarea la drift are drept scop principal asigurarea unui nivel minim de rigiditate a structurii. Prin limitarea deplasărilor laterale se urmărește menținerea degradărilor la un nivel acceptabil.

2.2.1 Verificarea deplasărilor laterale la starea limită ultimă

Verificarea deformațiilor laterale la starea limită ultimă are drept scop evitarea pierderilor de viați omenești la atacul unui cutremur major prin prevenirea prăbușirii elementelor nestructurale.

Verificarea la deplasare se face pe baza expresiei:

$$d_r^{ULS} = c \cdot q \cdot d_{re} \leq d_{r,a}^{ULS} \quad (2.2)$$

unde:

- d_r^{ULS} – deplasarea relativă de nivel sub acțiunea seismică asociată ULS
- $d_{r,a}^{ULS}$ – valoarea admisibilă a deplasării relative de nivel . Valoarea recomandată pentru deplasarea relativă admisibilă de nivel este $d_{r,a}^{ULS} = 0,025 \cdot h$
- c – factorul de amplificare a deplasărilor

$$c = \begin{cases} \frac{1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega}{q} + \left(1 - \frac{1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega}{q}\right) \cdot \frac{T_c}{T_1} \geq 3, & \text{dacă } T_1 < T_c \\ 1,0, & \text{dacă } T_1 \geq T_c \end{cases} \quad (2.3)$$

Perioadele proprii pentru primele două moduri de vibrație (moduri de translație după direcțiile principale ale structurii) sunt mai mici decât T_c . Deoarece factorul de comportare q și suprazistența au valori egale, factorul c ia valoarea $c = 1,0$ pentru ambele direcții ale structurii.

Driftului de etaj d_r^{ULS} la starea limită ultimă pentru modelele de calcul considerate a fost limitat la valoarea $d_r^{ULS} = 0,02 \cdot h = 0,02 \cdot 3500mm = 70mm$.

2.3 Calculul și dimensionarea contravântuirilor cu flambaj împiedicat

În articolul “Type testing of buckling restrained braces according to EN 15129”[12] au fost publicate rezultatele unor teste pe bare disipative cu flambaj împiedicat produse de StarSeismic Ltd. În același articol este prezentat faptul că valorile obținute în testele realizate pe barele disipative, factorul de corecție al capacității la întindere este mai mare decât 1.4, diferit de valoarea minimă 1.0 .

Coeficienții de corecție au fost determinați astfel:

$$\omega = \frac{V_{bd,T}}{f_{ya,c} \cdot A_y} = \frac{V_{bd,T}}{F_{ac,c}} \quad (2.4)$$

unde:

- $V_{bd,T}$ = capacitatea barei disipative cu flambaj împiedicat la întindere pentru deplasarea la care a fost proiectată
- $f_{ya,c}$ = rezistența la curgere a miezului de oțel, măsurată în timpul testului
- A_y = aria secțiunii transversale a miezului de oțel
- $F_{ac,c}$ = capacitatea reală de rezistență la curgere a barei disipative cu flambaj împiedicat

$$\beta = \frac{V_{bd,C}}{V_{bd,T}} \quad (2.5)$$

unde:

- $V_{bd,C}$ = capacitatea barei disipative cu flambaj împiedicat la compresiune pentru deplasarea la care a fost proiectată

$$\beta_{mediu, teste} = 1.365 [12]$$

$$\omega_{mediu, teste} = 1.434 [12]$$

Norma europeană EN15129 impune determinarea unei curbe teoretice biliniarizate pentru a caracteriza comportarea barelor disipative. Curba biliniarizată este reprezentată în figura 2.3, ținând cont de factorii de corecție obținuți în urma testelor:

- factor de corecție pentru capacitatea de rezistență la compresiune : $\beta \cdot \omega = 1.365 \cdot 1.434 = 1.96$
- factor de corecție pentru capacitatea de rezistență la întindere $\omega = 1.434$

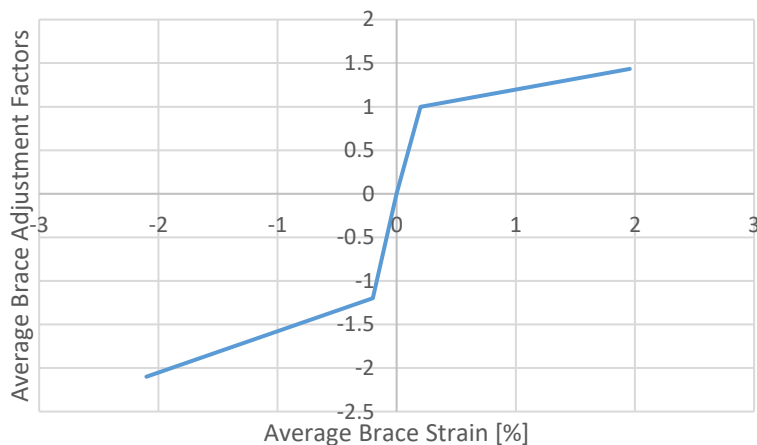


Fig. 2.3 - Comportarea barelor disipative descrisă prin curba biliniarizată

Exemplu: Secțiunea PL70x15 (Secțiunea utilizata la Prototipul de BRB testat)

Capacitatea de rezistență a barei disipative:

$$A_{mie\acute{z}, otel} = 1050 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{ov} = 1.30 \text{ (pentru otel S275)}$$

$$T_y = C_y = 1050 \cdot 280 \cdot 10^{-3} = 294 \text{ kN} \quad (2.6)$$

$$T_{max} = \gamma_{ov} \cdot \beta \cdot T_y = 1.30 \cdot 1.365 \cdot 294 = 521 \text{ kN} \quad (2.7)$$

$$C_{max} = \gamma_{ov} \cdot \omega \cdot \beta \cdot T_y = 1.30 \cdot 1.434 \cdot 1.365 \cdot 294 = 748 \text{ kN} \quad (2.8)$$

Capacitatea de deformare a barei în domeniul elastic:

$$\varepsilon_{el} = \frac{\sigma}{E} = \frac{280}{2.1 \cdot 10^5} = 0.00131 \quad (2.9)$$

$$\Delta_{el} = \varepsilon_{el} \cdot L = 0.00131 \cdot 3815 = 5.1 \text{ mm} \quad (2.10)$$

Barele disipative cu flambaj împiedicat au fost modelate ca elemente liniare. Comportarea neliniară a fost realizată prin definirea unei articulații plastice la jumătatea lungimii elementului ca în figura următoare:

Hinge Property Data for CVP15 - Axial P

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-1.96	-15
D-	-1.96	-15
C-	-1.96	-15
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.365	15
D	1.365	15
E	1.365	15

☐ Symmetric

Type

☒ Force - Displacement

☐ Stress - Strain

Hinge Length: m

☐ Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis:

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

☐ Use Yield Force

Force SF: Positive: Negative: kN

☐ Use Yield Disp (Steel Objects Only)

Disp SF: Positive: Negative: m

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Immediate Occupancy: Positive: Negative:

Life Safety: Positive: Negative:

Collapse Prevention: Positive: Negative:

OK Cancel

Fig. 2.2 - Definirea articulației plastice pentru bara disipativă în ETABS

Barele disipative au fost modelate folosind elemente liniare cu articulații plastice la capete. Articulațiile plastice sunt definite cu rezistența la compresiune crescută fata de cea la întindere datorită factorului de corecție a capacității la compresiune.

În urma calculului static liniar au rezultat eforturi de compresiune și întindere în fiecare diagonală N_{Ed} . Dimensionarea BRB-urilor s-a făcut urmărind recomandările din Ghidul de proiectare StarSeismic.

Aria necesară pentru contravântuirile cu flambaj împiedicat se obține cu următoarea formulă:

$$A_{nec} = \frac{P}{0.9 \cdot f_y} \quad (2.13)$$

unde:

- P = efortul maxim de compresiune/întindere din contravântuire
- f_y = limita de curgere a miezului de oțel.

Pentru a modela comportarea histeretică a barelor disipative cu flambaj împiedicat s-au ales preliminar pentru modelele de calcul factorii de corecție ai capacității de rezistență la compresiune și întindere $\omega = 1.434$ și $\beta = 1.365$. Cu ajutorul factorilor de corecție au fost calculate capacitățile de rezistență la atingerea limitei de curgere, după cum urmează:

- capacitatea de rezistență la compresiune corectată: $\beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{pl,Rd}$
- capacitatea de rezistență la întindere $\omega \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{pl,Rd}$

ω = factor de corecție al capacității de rezistență la compresiune și reprezintă raportul dintre forța maximă de compresiune P_{max} și forța maximă de întindere T_{max} (pentru specimenul încărcat experimental pentru o deformare care corespunde unei valori egale cu dublul deplasării relative de nivel de calcul)

ω = factorul de corecție datorat ecruisării și care reprezintă efortul dintre forța maximă de întindere T_{max} și capacitatea de rezistență la atingerea limitei de curgere măsurată în miezul contravântuirii $f_{y,m}$.

Fiecare bară disipativă cu flambaj împiedicat are o lungime totală de 4.15 m din care zona de plastificare reprezintă aproximativ 60% , ceea ce reprezintă 2.55m.

2.4 Proiectarea cadrelor cu contravântuiri cu flambaj împiedicat

Cadrela cu contravântuiri cu flambaj împiedicat se caracterizează prin capacitatea contravântuirilor de a lucra în domeniul plastic la fel de bine la compresiune ca și la întindere. La cadrele echipate cu contravântuiri cu flambaj împiedicat, contravântuirile disipă energia prin intermediul ciclurilor histeretice stabile la compresiune și la întindere. Figura 2.6 prezintă comportamentul histeretic caracteristic pentru acest tip de contravântuire în comparație cu comportarea unei contravântuiri obișnuite. Acest comportament este obținut prin limitarea flambajului miezului de oțel cu ajutorul sistemului de împiedicare a flambajului iar astfel efortul axial se decuplează de rezistența la flambaj prin încovoiere. Încărcarea axială este limitată la miezul de oțel în timp ce sistemul de blocare a flambajului, de obicei o teavă, rezistă la încovoierea globală a contravântuirii și împiedică modurile superioare de flambaj ale miezului de oțel.

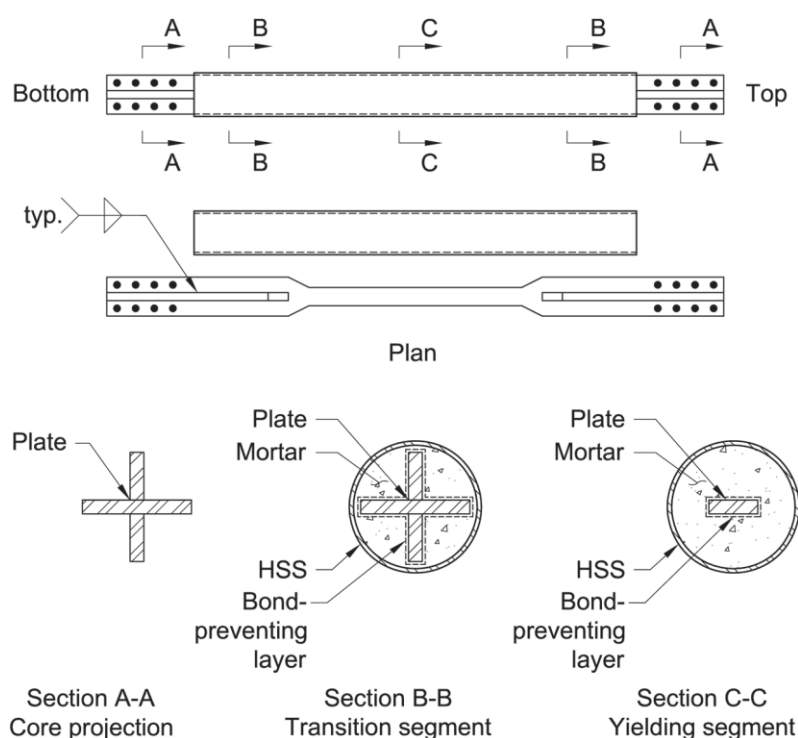


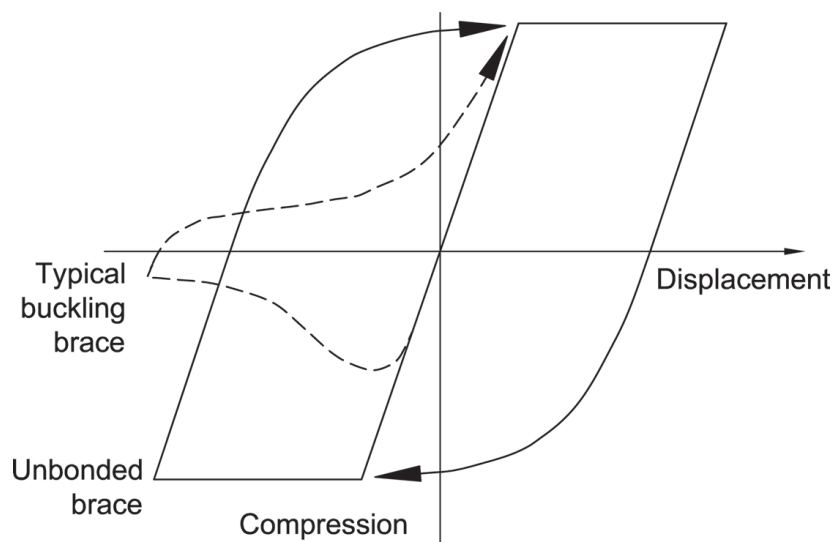
Fig. 2.5 Detalii uzuale ale barelor cu flambaj împiedicat [8]

Cadrelor cu contravanturiri cu flambaj împiedicat sunt alcătuite din stalpi, grinzi și contravanturiri, toate acestea fiind supuse în primul rând eforturilor axiale. Contravantuirile cu flambaj împiedicat (BRB), sunt compuse dintr-un miez din oțel și un sistem de împiedicare a flambajului care înconjoară miezul de oțel. În plus față de schema prezentată în Figura 2.5, alte exemple de BRB se găsesc în Watanabe and colab. "Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube. Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering (1988)"; Wada et al. "Damage tolerant structure" (1994); și Clark and colab. "Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices" (1999). Miezul de oțel din cadrul BRB este sursa primară de disipare a energiei. În timpul unui cutremur este de așteptat ca miezul de oțel să sufere deformări inelastice semnificative.

Cadrelor cu contravanturiri cu flambaj împiedicat pot asigura rigiditate elastică comparabilă cu cea a cadrelor contravantuite excentric. Testele de Laborator pe scară largă indică faptul că elementele de rigidizare bine concepute și detaliate ale cadrelor cu contravanturiri cu flambaj împiedicat prezintă comportament histeretic simetric și stabil atunci când este supus la încărcări de întindere și compresiune prin deformări inelastice semnificative. Ductilitatea și capacitatea de disipare a energiei la cadrelor cu contravanturiri cu flambaj împiedicat este de așteptat să fie comparabilă cu cea a cadrelor necontravantuite și mai mare decât la cadrelor contravantuite centric. Această ductilitate ridicată este obținută prin limitarea flambajului miezului de oțel.

Prevederile menționate se bazează pe utilizarea modelelor de contravanturiri cu flambaj împiedicat calificate prin testare. Reglementările asigură că contravantuirile sunt utilizate numai în limitele capacității lor de deformare dovedite, și că modurile de cedare, altele decât intrarea stabilă în domeniul plastic al miezului de oțel, sunt împiedicate la driftul de etaj maxim care corespunde cutremurului de proiectare.

Pentru analizele efectuate folosind metode liniare, deformatiile maxime inelastice pentru acest sistem sunt definite ca cele care corespund cu 200% din driftul de proiectare. Pentru analize neliniare histeretice, deformatiile maxime inelastice pot fi luate direct din rezultatele analizelor.



Axial force-displacement behavior
Fig. 2.6. Comportarea histeretica a BRB-urilor [8]

Pentru determinarea deformatiei presupuse este necesar un drift de etaj minim de 2% pentru teste. Această abordare este în concordanță cu ecuațiile de analiză liniară pentru proiectare la drift din ASCE / SEI 7 și recomandările FEMA P-750. De asemenea, se observă că consecințele pierderii stabilității imbinării datorate deplasărilor seismice reale care depășesc valorile calculate pot fi severe. Barele cu flambaj împiedicat trebuie astfel să aibă o capacitate de deformare mai mare decât cea indicată direct prin analiză statică liniară.

Valoarea de 200% din driftul de proiectare pentru deformațiile așteptate ale contravantuirilor reprezintă media driftului maxim de etaj, în timpul mișcărilor seismice, având șansa de depășire de 10% în 50 de ani (Fahnestock et al., 2003; Sabelli et al., 2003). Depășirea valorii maxime a deformatiei BRB-ului poate duce la un comportament deficitar, cum ar fi flambajul, dar aceasta nu echivalează cu cedarea. Detalierea și testarea la deformatii mai mari a BRB-urilor vor asigura o fiabilitate mai mare și o performanță mai bună.

Inginerul proiectant care utilizează aceste recomandări este puternic încurajat să ia în considerare efecte ale configurației și proporționării contravantuirilor asupra formării potențialelor mecanisme de plastificare ale clădirilor. Rezistența axială la curgere a miezului, P_{ysc} , poate fi stabilită precis cu aria finală a secțiunii transversale a miezului determinată prin împărțirea capacității contravantuirii la rezistența efectivă a materialului stabilită prin testarea epruvetelor, înmulțită cu un factor de rezistență. În unele cazuri, zona secțiunii transversale va fi reglementată prin cerințele de rigiditate a contravantuirilor pentru a limita driftul. În ambele cazuri, o ajustare atentă a contravantuirilor pot face ca distribuția plastificării pe înălțimea clădirii să fie mult mai probabila decât în cadre obisnuite.

De asemenea, se recomandă ca inginerii să se consulte următoarele documente pentru a intelege cat mai bine modul de lucru al acestor dispozitive: Uang and Nakashima (2003); Watanabe and colab.

(1988); Reina and Normile (1997); Clark and colab. (1999); Tremblay and colab. (1999); și Kalyanaraman et al. (1998).

Prevederile de proiectare pentru cadrele cu contravantuiri cu flambaj împiedicat se bazează pe o performanță fiabilă și de încredere a contravantuirilor cu flambaj împiedicat. Pentru a asigura această performanță, este necesar un plan de asigurare a calității. Aceste măsuri sunt în plus față de cele cuprinse în Codul de Practică Standard (AISC, 2016). Exemple de măsuri care pot fi furnizate pentru asigurarea calității sunt:

- Inspecția specială a fabricării contravantuirilor. Inspecția poate include confirmarea toleranțelor de fabricare și centrare, precum și metode de testare nedistructivă (NDT) pentru evaluarea produsului final.

- Participarea fabricantului de BRB într-un program recunoscut de certificare a calității. Certificarea trebuie să includă documentația prin care se demonstrează ca planul fabricantului de asigurare a calității este în conformitate cu cerințele, dispozițiile și cu normativele în vigoare Producția și procedurile de control al calității ar trebui să fie echivalente sau mai bune decât cele utilizate la fabricarea specimenelor de testare.

3. PROCEDURA DE CALIFICARE EXPERIMENTALA A CONTRAVANTUIRILOR CU FLAMBAJ IMPIEDICAT

Procedura de calificare experimentală necesită introducerea mai multor variabile noi. Valoarea Δ_{bm} reprezintă atât deformatia axială, cât și rotirea. Ambele valori sunt determinate prin examinarea profilului clădirii la driftul de proiectare, Δ_m și extragerea cerințelor de deformare laterală și cerințelor de rotații impuse. Determinarea cerinței maxime de rotații impuse asupra contravantuirilor utilizate în clădire poate necesita eforturi de calcul semnificative. Inginerul poate prefera să selecteze o valoare rezonabilă (driftul de etaj), care poate fi demonstrată ca fiind valoare conservatoare.

Fiecare tip de contravantuire este de așteptat să se afle în interiorul înfasurătorii valorilor de performanță a tipului de contravantuiri selectate pentru a fi utilizată la proiect.

3.1 Scop

Elaborarea cerințelor de testare din normativul AISC341-16 a fost motivată de o cantitate relativ mică de date de încercare privind cadrele cu contravantuiri cu flambaj împiedicat disponibilă pentru inginerii constructori. În plus, nu există date privind răspunsul acestor tipuri de cadre la mișcări seismice de intensitate ridicată. Prin urmare, performanța seismică a acestor sisteme este relativ necunoscută în comparație cu sistemele convenționale cu cadre contravantuite din oțel.

Comportamentul cadrelor cu contravantuiri cu flambaj împiedicat diferă semnificativ de cadrele convenționale și altele sisteme structurale rezistente la eforturi din mișcările seismice. Factorii care afectează performanța contravantuirii sub efortul mișcării seismice nu sunt bine cunoscuți și astfel cerințele pentru testare sunt menite să asigure funcționarea conform cerințelor a BRB-urilor și de asemenea, pentru a dezvolta cunoașterea a acestor sisteme.

Testarea specimenelor de BRB și a subansamblurilor de cadre cu BRB este costisitoare și consumatoare de timp. Procedura de testare trebuie să ofere asigurarea că prototipul testat în conformitate cu reglementările în vigoare, va funcționa în mod satisfăcător într-o situație reală de mișcare seismică.

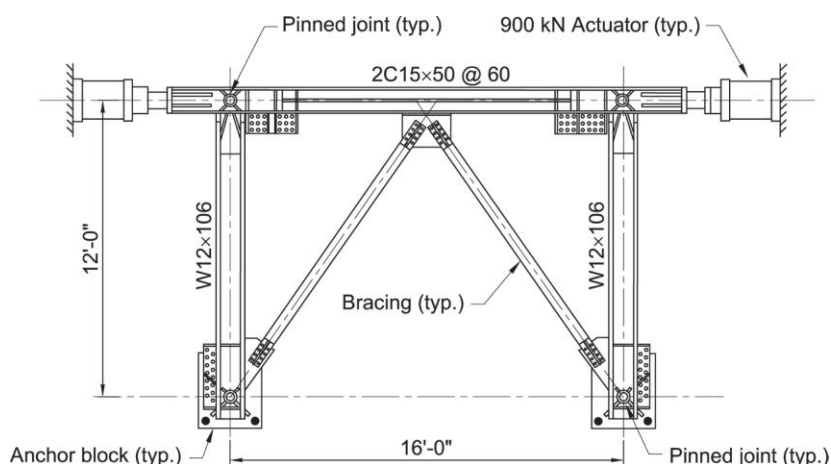


Fig. 3.1. Exemple de subansamblu BRB.

Reglementările cu privire la calificarea experimentală a BRB-urilor nu trebuie să conducă la teste specifice fiecărui proiect deoarece în cele mai multe cazuri, testele au fost raportate în literatură sau furnizate de producătorul BRB-urilor și pot fi folosite pentru a demonstra că acestea satisfac cerințele de rezistență, deformare și rotații inelastice. Reglementările permit utilizarea de BRB proiectate de fabricatori, prin utilizarea unei metodologii documentate de proiectare.

Cele mai multe programe de testare sunt dezvoltate în mare măsură pe teste în care BRB-urile sunt încărcate axial. Cu toate acestea, reglementările sunt elaborate pentru a dezvolta testarea unui subansamblu care este supus la o combinație de încărcări axiale și rotații. Aceasta reflectă ideea că capacitatea contravantuirii de a se adapta la cerințele de rotații necesare nu poate fi predictibilă numai prin mijloace analitice.

În cazul în care condițiile din clădirea reală diferă semnificativ de condițiile de testare sunt necesare teste suplimentare care depășesc cerințele descrise în reglementări pentru a asigura o performanță satisfăcătoare a BRB-urilor.

Deformația plastică a BRB-ului utilizată în dezvoltarea secvenței de testare este necesară pentru a determina deformația plastică reală acumulată a BRB-ului. Dacă efortul de curgere al miezului de oțel a fost utilizat pentru a determina secvența de testare și dacă supra rezistența oțelului există, cerința de deformare plastică totală impusă în timpul testului ar fi supraestimată.

3.2 Testarea subansamblurilor

Obiectivul testelor de subansamble este de a verifica capacitatea contravanturilor, în special deformatia miezului de oțel și comportarea mecanismului de împiedicare a flambajului, pentru a adapta combinația de deformatii axiale și rotiri fără a ajunge la cedare.

Testarea subansamblelor este mai dificilă și mai scumpă decât cea testarea uniaxială a specimenelor de BRB. Cu toate acestea, complexitatea comportamentului dat de BRB datorita cerințelor de rotiri și de deformatii axiale combinate și lipsa relativă a datelor de testare privind performanța acestor sisteme, indică faptul că ar trebui să fie efectuată testarea subansamblurilor și nu doar a specimenelor.

Testarea subansamblelor nu este necesară pentru fiecare proiect. Producătorii de BRB trebuie să efectueze testele pentru o gamă rezonabilă de sarcini axiale, configurații ale miezului din oțel și alți parametri, conform cerințelor din reglementările în vigoare. Este de așteptat ca aceste date să fie ulterior disponibile pentru inginerii proiectanți. Cunoasterea limitelor de performanță ale BRB-ului reduce la minimum necesitatea testării subansamblurilor pentru fiecare proiect.

O mare varietate de configurații de subansamble sunt posibile pentru impunerea cerințelor de deformare axială și de rotiri pe probele de testare. Cateva subansamble potențiale sunt prezentate în figura 3.2. Subansamblele nu trebuie să includă imbinarea dintre grinzi și stalpi cu condiția ca aparatul de testare să reproducă, într-un grad rezonabil, deformările combinate axiale și de rotiri așteptate la fiecare capăt al BRB-ului. Cerințele de rotiri pot fi concentrate în zona fără mecanism de blocare a flambajului a miezului de oțel. În funcție de mărimea cerințelor de rotiri, poate să apară curgerea prin încovoiere a miezului de oțel. Cerințele de rotiri pot fi, de asemenea, ajustate prin alte mijloace, cum ar fi toleranța în stratul neaderent sau în mecanismul de împiedicare a flambajului, flexibilitatea elastică a BRB-ului și miezului de oțel, sau prin utilizarea unor bolturi sau rulmenți sferici. Este în interesul inginerului să includă în testarea subansamblului toate componentele care contribuie semnificativ la satisfacerea cerințelor de rotiri.

În timp ce extrapolarea superioară a scării de testare este permisă pentru speciemenele de testare, subansamblul nu este permis să fie la o scară mult mai mică decât prototipul. Se așteaptă ca testul subansamblului să fie similar cu prototipul iar astfel va oferi o confirmare a capacității proiectate pentru a oferi performanțele necesare impuse în reglementari.

Se intenționează ca pentru subansamblul testat capacitatea axială să fie mai mare decât a prototipului. Cu toate acestea, există posibilitatea ca BRB-urile să fie proiectate cu eforturi axiale mult mai mari. Dacă efortul de curgere este atât de mare încât testarea este imposibilă, inginerul este de așteptat să facă uz de alte programe de testare alternative cum ar fi analiza elementelor finite neliniare, testarea parțială a probelor și testarea la scară redusă, împreună cu testări uniaxiale la scară largă, acolo unde este cazul sau necesar.

Marja de siguranță calculată pentru stabilitatea miezului de oțel, este un parametru care trebuie să fie egal sau să depășească valoarea utilizată a prototipului. Metoda de calcul a stabilității miezului de oțel trebuie inclusă în metodologia de proiectare.

Subansamblul testat este necesar să fie supus în același timp la încărcări axiale și rotații similare cu cele ale prototipului. BRB-uri identice situate în diferite zone din clădire, vor suferi deformatii axiale maxime și rotiri diferite. În plus, valorile maxime ale rotirilor și deformatiilor axiale pot fi diferite la fiecare capăt al BRB-ului. Inginerul trebuie să facă ipoteze simplificatoare pentru a determina combinația cea mai potrivită pentru cerințele de rotiri și deformatii axiale din programul de testare.

Unele configurații de testare necesită ca una dintre încărcările aplicate să fie fixă în timp ce cealaltă încărcare este variată. Într-un astfel de caz, rotirile poate fi aplicate și menținute la maxim și deformatia axială aplicată în funcție de secvența de încărcare necesară. Inginerul poate considera necesar să efectueze teste ulterioare pe același specimen pentru a unifica rezultatele obținute în urma testărilor.

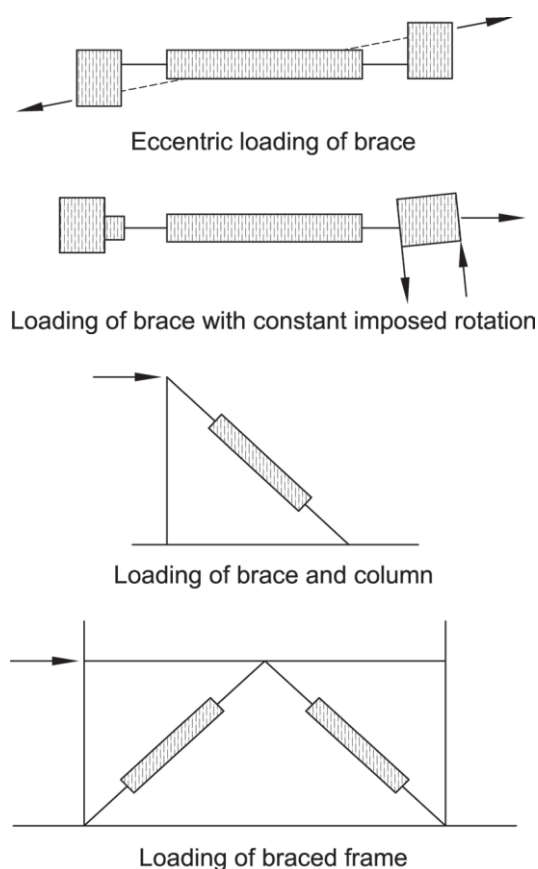


Fig. 3.2 Subansamble posibile de testare

3.3 Testarea Specimenelor de contravantuiri

Obiectivul de testare a specimenelor de BRB este de a stabili parametrii de baza ai proiectarii pentru sistemele de cadre cu contravantuiri BRB.

Toleranțele de fabricație utilizate de producătorii de BRB pentru a realiza performanța cerută pot fi mai stricte decât cele folosite pentru alte elemente structurale din oțel. Inginerul trebuie să nu aplice în mod excesiv reglementările specificate pentru BRB, deoarece intenția prevederilor este că fabricarea și aprovizionarea BRB-urilor se realizează printr-un proces bazat pe performanță.

Se consideră suficient ca fabricarea specimenului de testare și a prototipurilor să se realizeze utilizând aceleași proceduri de control și de asigurare a calității iar acestea trebuie proiectate folosind aceeași metodologie de proiectare.

În timpul etapelor de planificare fie a unui test de saubansamblu, fie a unui test uniaxial, pot exista anumite condiții care determină eșantionul de încercare să se abată de la parametrii stabiliți în reglementările de testare. Aceste condiții pot include:

- Lipsa disponibilității grinzelor, stălpilor și BRB-urilor la dimensiuni care să corespundă dimensiunilor reale pentru a fi utilizate în cadrul real al clădirii.
- Limitarea setărilor de încercare în laborator
- Transportul și constrângerile legate de montarea pe santier

Cazurile în care astfel de abateri sunt acceptabile sunt specifice fiecărui proiect. Pentru aceste cazuri specifice, se recomandă ca inginerul specialist să demonstreze că sunt îndeplinite următoarele obiective:

- Scara de testare rezonabilă
- Metodologie de proiectare similară
- Puterea adecvată a sistemului de testare
- Fixarea stabilă a flambajului la miezul de oțel din prototip
- Capacitate adecvată de rotire în prototip
- Capacitate adecvată a deformațiilor cumulate în prototip

În multe cazuri, nu este practica sau rezonabilă testarea îmbinarilor exacte prezente în prototip. În general, cerințele privind îmbinarea miezului de oțel de guseul cadrului din care BRB-ul face parte sunt bine definite datorită capacității axiale cunoscute a BRB-ului și capacității limitate de încovoiere din miezul de oțel. Proiectarea ulterioară a îmbinarilor cu bolt, suruburi sau sudura este în sine o problemă complicată iar acest subiect nu se intenționează a fi punctul central al programului de testare.

Obiectivul acestor prevederi este de a se asigura că îmbinarile de la capetele BRB-ului reprezintă în mod rezonabil îmbinarile prototipului. Este posibil ca datorită fabricării sau unor constrângeri de asamblare să apară constrângeri de montaj, nepotriviri pentru orificiile bolt-urilor sau ale suruburilor. În anumite cazuri, astfel de variații nu sunt în detrimentul calificării unui test ciclic. Acceptarea variațiilor îmbinarilor se bazează pe opinia inginerului specialist care coordonează testarea.

3.3 Echipamentul de incercare si masurare

La realizarea încercărilor s-a utilizat un cadru de reacțiune dotat cu echipamente de încărcare, măsurare și achiziție automată a datelor. Figura 3.3 prezintă schematic principalele caracteristici (dimensiuni, capacitatea cilindrilor hidraulici) ale cadrului de reacțiune. Dotarea laboratorului, în valoare de aproximativ 1 milion de \$, s-a realizat prin donația făcută de Japan International Cooperation Agency (JICA) în cadrul proiectului româno-japonez de reducere a riscului seismic.

Elementele au fost supuse la încărcări laterale ciclice alternante, aplicate static. Forțele orizontale au fost aplicate prin intermediul a doi cilindri cu capacitatea de 100t. Controlul s-a făcut în deplasări pe toată durata testului. Nu au fost aplicate forțe axiale.

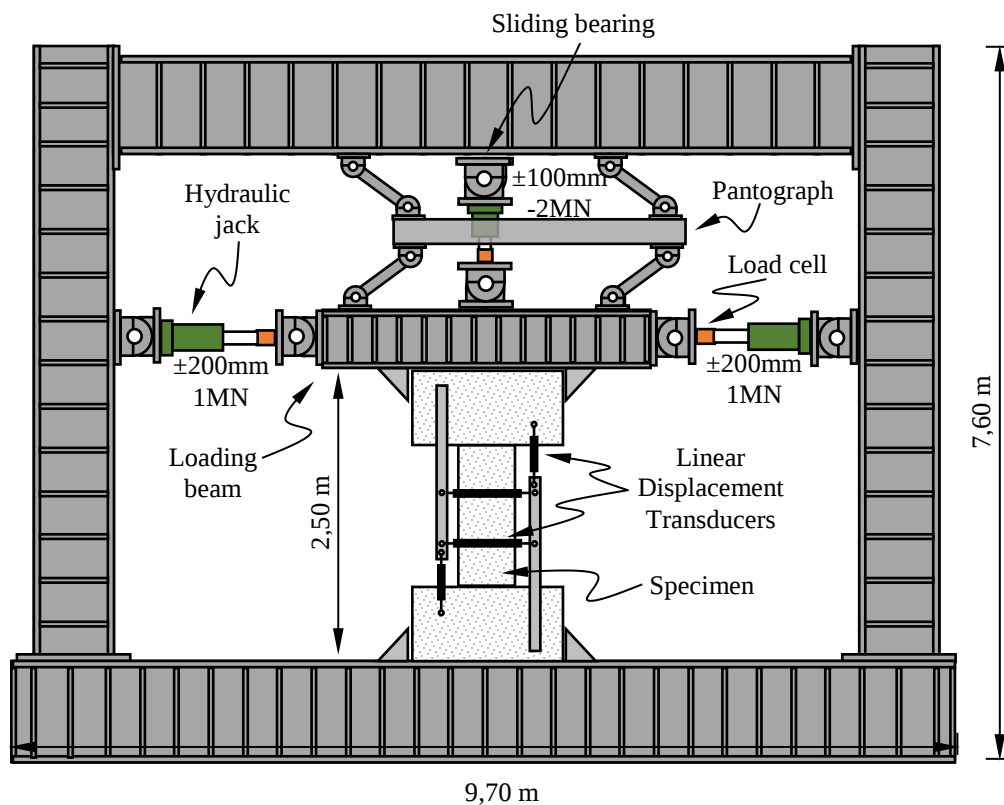


Fig.3.3 – Cadrul de reactiune folosit la testarea BRB-urilor

Pozitionarea prototipului de BRB a fost pe diagonala si este reprezentat schematic in fig 3.3 si fig.3.4.

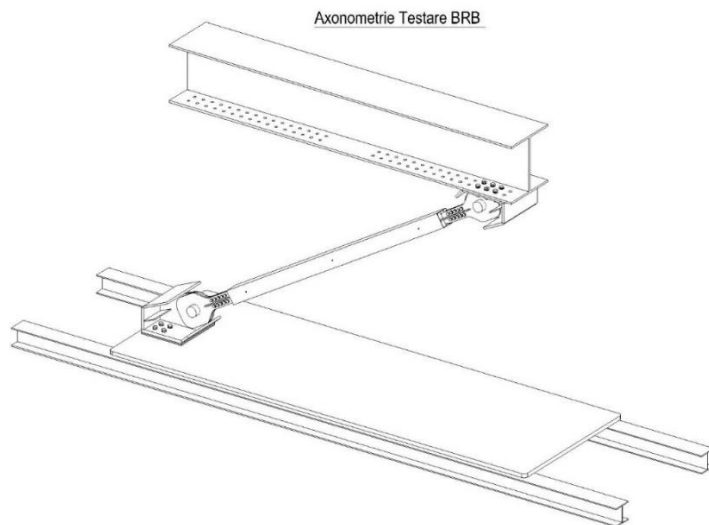


Fig. 3.4 – Axonometrie cadru seismic de testare al prototipurilor BRB

CADRU TESTARE BRB

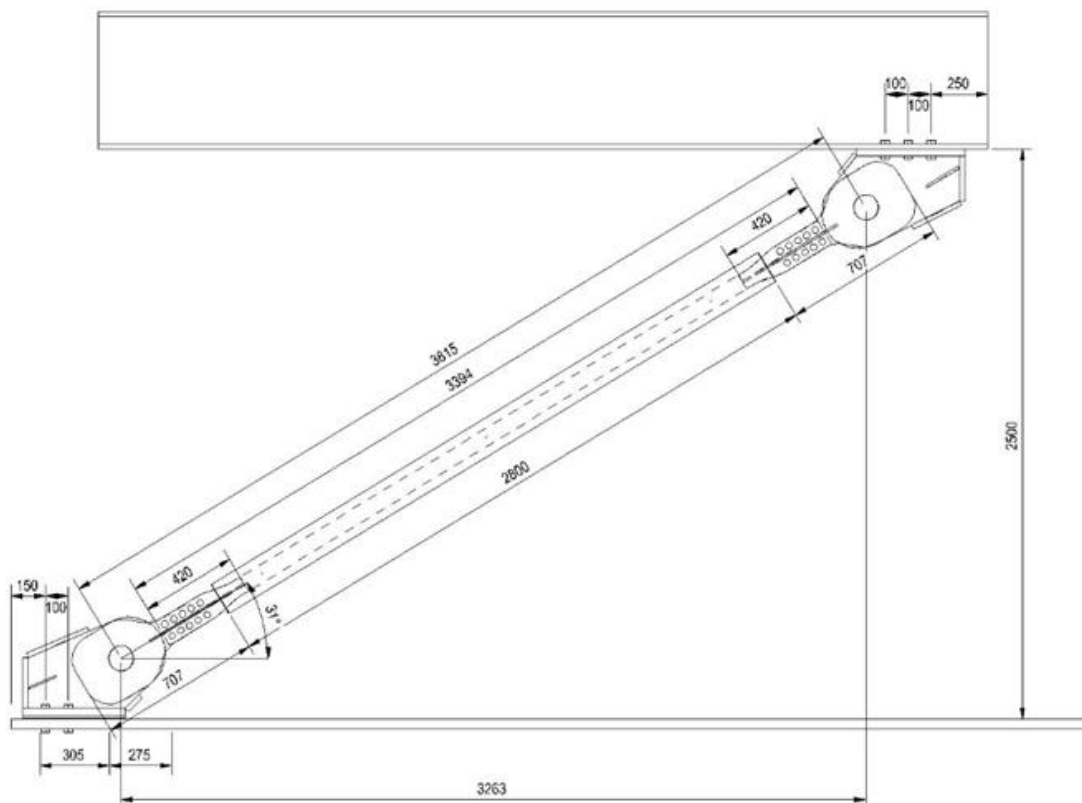


Fig. 3.5 – Dimensiuni cadru testare prototipuri BRB

Prototipul de BRB a fost montat în poziție provizorie cu ajutorul boltului de la partea inferioară și a fost ridicat și montat pe poziția de testare cu ajutorul palanelor manuale cu lant cu care este dotat cadrul de încercare. Pașii montajului sunt ilustrați în fig. 3.6 ÷ 3.9.



Fig. 3.6 – Cadru seismic si elemente de prototipului BRB



Fig. 3.7 – Montajul in pozitia de testare al prototipului BRB

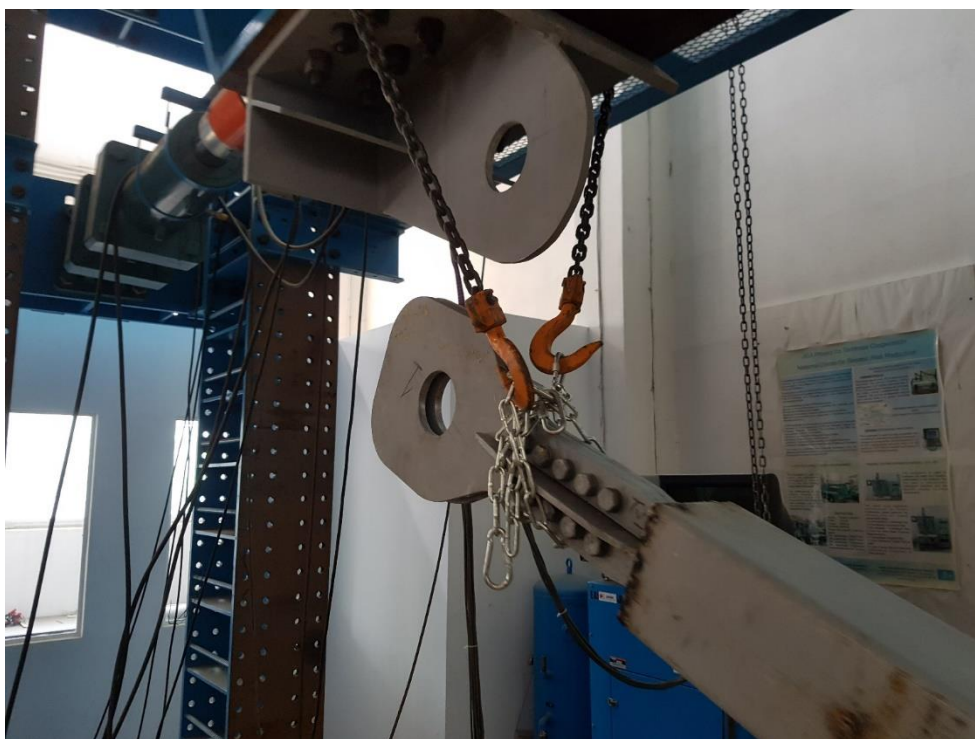


Fig. 3.8 – Montajul in pozitia de testare al prototipului BRB



Fig. 3.9 – Montajul in pozitia de testare al prototipului BRB

4. SECVENȚA DE ÎNCARCARE

Secvența de încărcare necesită ca fiecare BRB testat să atingă ductilitățile corespunzătoare până la 2 ori mai mare decât driftul de etaj și o capacitate de deformatii inelastice cumulativă axială de 200 de ori deformatia la curgere. Ambele cerințe se bazează pe un studiu în care au fost efectuate o serie de analize dinamice neliniare pe modele de clădiri pentru a investiga performanța acestui sistem. Cerința privind capacitatea de ductilitate reprezintă o medie a valorilor răspunsului obținut la teste (Sabelli et al., 2003). Cerința de ductilitate cumulată este semnificativ mai mare decât se aștepta pentru seismul de cod, dar testarea BRB-urilor a arătat că această valoare este ușor de atins. E de așteptat că, pe măsură ce sunt disponibile mai multe date de încercare și rezultate de analiză a construcțiilor, aceste cerințe să fie revizuite.

Raportul dintre deformatia la curgere a BRB-ului, Δ_{by} , și deformatia corespunzătoare driftului de etaj la SLU, Δ_{bm} , trebuie să se calculeze pentru a defini protocolul de testare. Acest raport este același cu raportul dintre factorul de amplificare a deplasării (definit de normativele în vigoare) și suprarezistența reală a BRB-ului;

Inginerii trebuie să observe că există o cerință minimă de deformare a BRB-ului, Δ_{bm} , corespunzătoare cu 1% din driftul de etaj. În cazul în care se furnizează suprarezistența superioară celei necesare BRB-ului pentru a limita driftul de etaj de proiectare, aceasta nu poate fi utilizată ca bază pentru reducerea cerințelor protocolului de testare.

Este necesar să se efectueze testarea de cel puțin de două ori a acestui minim (2% drift de etaj). De exemplu, se presupune că deformarea BRB-ului care corespunde drift-ului de etaj de proiectare este de patru ori mai mare decât deformatia la curgere. Se presupune, de asemenea, că driftul de etaj de proiectare este mai mare decât minimul de 1%. Pentru a calcula deformatia inelastică cumulată, ciclurile sunt convertite din multiplii ai deformatiei BRB-urilor la driftul de etaj de proiectare, Δ_{bm} , la multiplii de deformatii la curgere, Δ_{by} . Deoarece driftul inelastic cumulativ la sfârșitul ciclului de testare de $2\Delta_{bm}$ este mai mic decât minimul de $200\Delta_{by}$ este necesar pentru testele BRB să se realizeze cicluri suplimentare până la $1,5\Delta_{bm}$. La sfârșitul a patru astfel de cicluri, necesarul deformațiilor cumulate inelastice a fost atins.

Reglementările nu solicită sarcini aplicate dinamic. Aplicarea lentă a sarcinilor ciclice, este descrisă pe larg în literatura de specialitate pentru testele cu specimene de BRB, și este acceptată în normativul AISC341-16. Se recunoaște că încărcarea dinamică poate crește considerabil costul de testare și că există puține laboratoare cu capacitatea de a aplica sarcini dinamice la specimene de testare pe scară largă. Mai mult decât atât, cercetările disponibile privind efectele dinamice de încărcare asupra speciimenelor de testare din oțel nu au demonstrat o nevoie pentru astfel de teste.

Dacă se consideră că efectele vitezei de încărcare sunt potențial semnificative pentru miezul de oțel și pentru materialul utilizat în prototip, este posibil să se estimeze modificarea comportamentului preconizat prin efectuarea de teste la viteza scăzută (test ciclic) și la viteza mare (încarcarea dinamică din seism).

Ciclurile de încărcare pentru prototipurile de BRB au fost determinate cu ajutorul driftului de etaj limitat la valoarea de 2% și sunt prezentate în fig. 4.1. Cadrul seismic a fost acționat orizontal pentru a obține deformațiile axiale dorite. Protocolul de încărcare al cadrului pe direcție orizontală este prezentat în fig. 4.2.

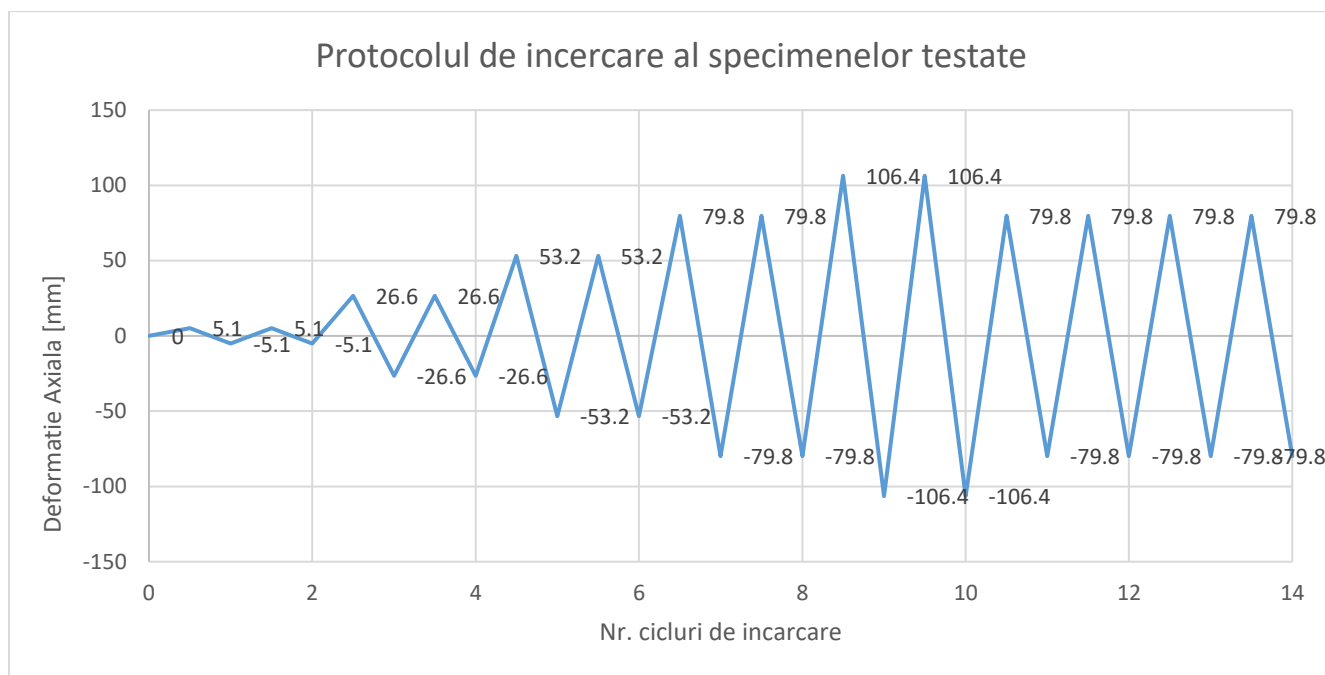


Fig. 4.1 – Protocolul de incercare al specimenelor testate [Deformatie axiala]

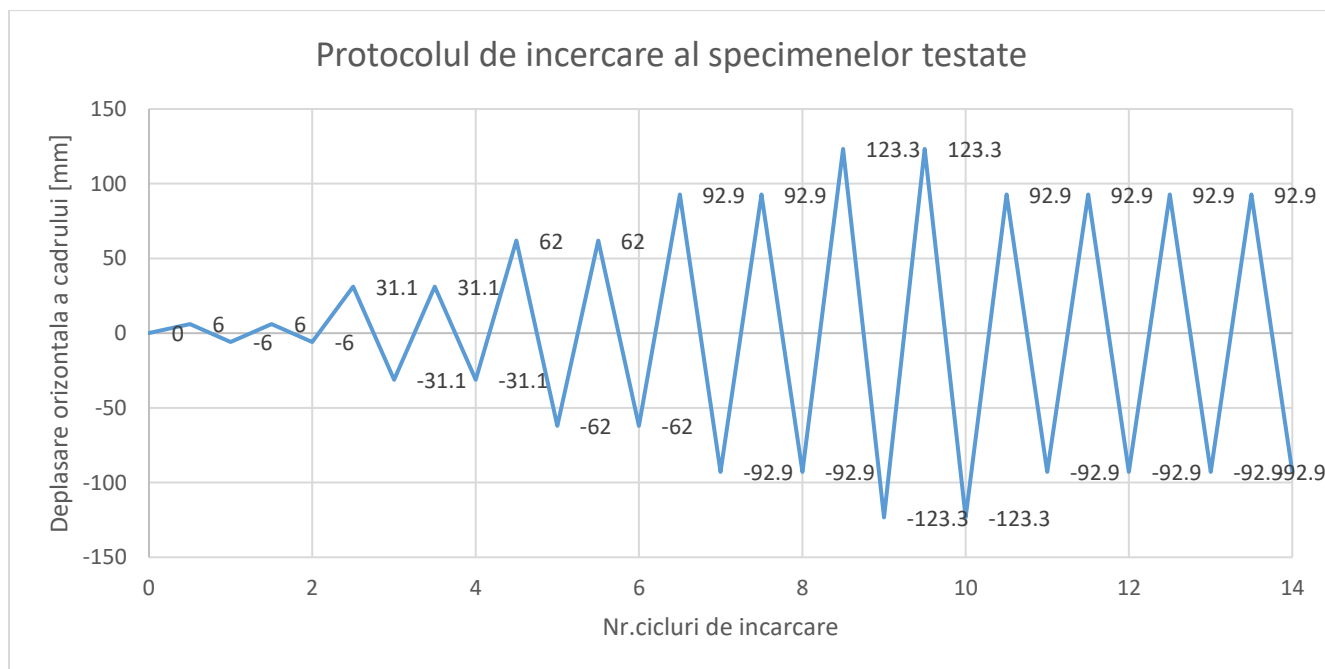


Fig. 4.2 – Protocolul de incercare al specimenelor testate [Deformatie orizontala cadru seismic]

5. INSTRUMENTAȚIE

Cerințele minime de instrumentație sunt specificate în normativul AISC 341-16 pentru a permite determinarea necesarului de informații specifice testării. Este de așteptat ca o instrumentație alternativă să fie adecvată pentru unele cazuri specifice. Măsurarea deplasărilor pentru specișenele studiate a fost realizată cu ajutorul traductoarelor de deplasare inductive. Funcționarea traductoarelor se bazează pe principiul circuitului magnetic. Traductoarele furnizează la ieșire tensiuni, care sunt generate prin mișcarea unui conductor în câmpul magnetic prin inducție. Câmpul magnetic trebuie să se modifice cu o anumită frecvență iar deplasarea conductorului apare ca o modulație în amplitudine (amplitudinea tensiunii alternative se modifică cu deplasarea). Pentru specișenele testate în laboratorul CNRSS au fost instalați 7 traductoare de deplasare rectilinie. Suprafața pe care acționează traductoarele a fost realizată din sticlă pentru a avea o suprafață cât mai plană și pentru a nu avea interferențe în procesul de măsurare a deplasărilor. Traductoarele au fost instalați conform schemei din figura 5.2 și contorizează deplasările rectilinii astfel:

- Traductor 1- Cursa maximă -100mm – deplasare orizontală pentru grinda superioară a cadrului seismic

- Traductor 2- Cursa maximă -100mm – deplasare orizontală pentru grinda superioară a cadrului seismic

- Traductor 3- Cursa maximă ± 50 mm – deplasare axială între miezul de oțel și teavă exterioară a BRB-ului la capătul superior

- Traductor 4- Cursa maximă ± 50 mm - deplasare axială între miezul de oțel și teavă exterioară a BRB-ului la capătul superior

- Traductor 5- Cursa maximă ± 25 mm – deplasare verticală pentru grinda superioară a cadrului seismic

- Traductor 6- Cursa maximă ± 25 mm – deplasare orizontală laterală la capătul inferior a tevii metalice

- Traductor 7- Cursa maximă ± 25 mm – deplasare orizontală laterală la capătul inferior a tevii metalice



Fig. 5.1 – Montajul traductoarelor pentru prototipul BRB

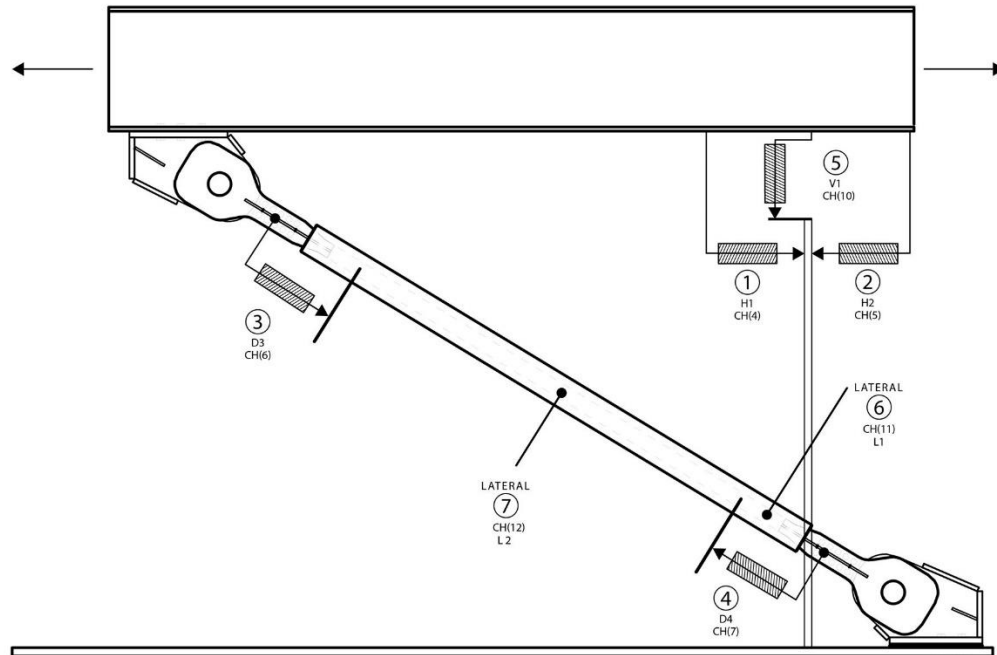


Fig. 5.2 – Montajul traductoarelor pentru prototipul BRB



Fig. 5.3 – Montajul traductorului nr.4



Fig. 5.4 – Montajul traductorului nr.6



Fig. 5.5 – Montajul traductoarelor nr.1, nr.2 si nr.5



Fig. 5.6 – Montajul traductoarelor nr.1, nr.2 si nr.5



Fig. 5.7 – Montajul traductorului nr.3

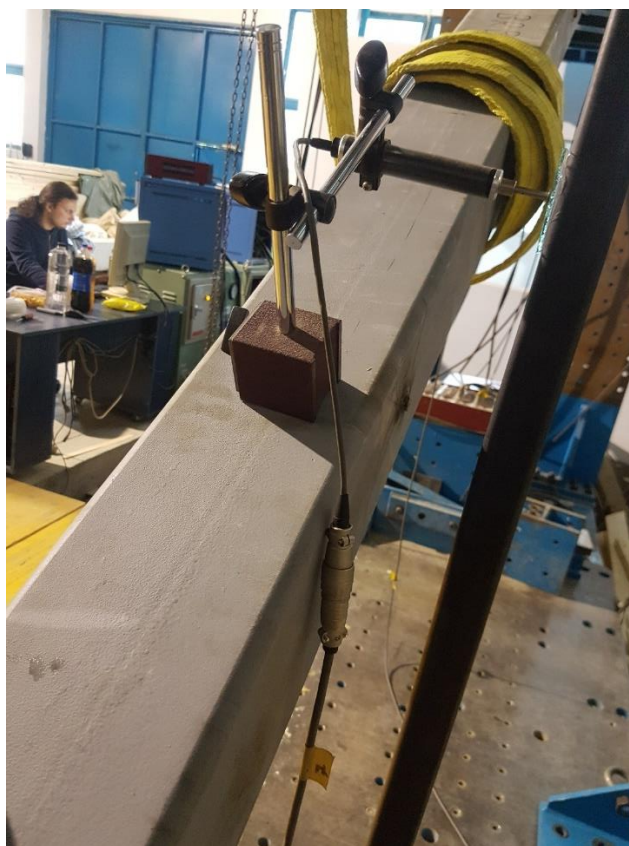


Fig. 5.8 – Montajul traductorului nr.7



Fig. 5.9 – Montajul traductorului nr.4

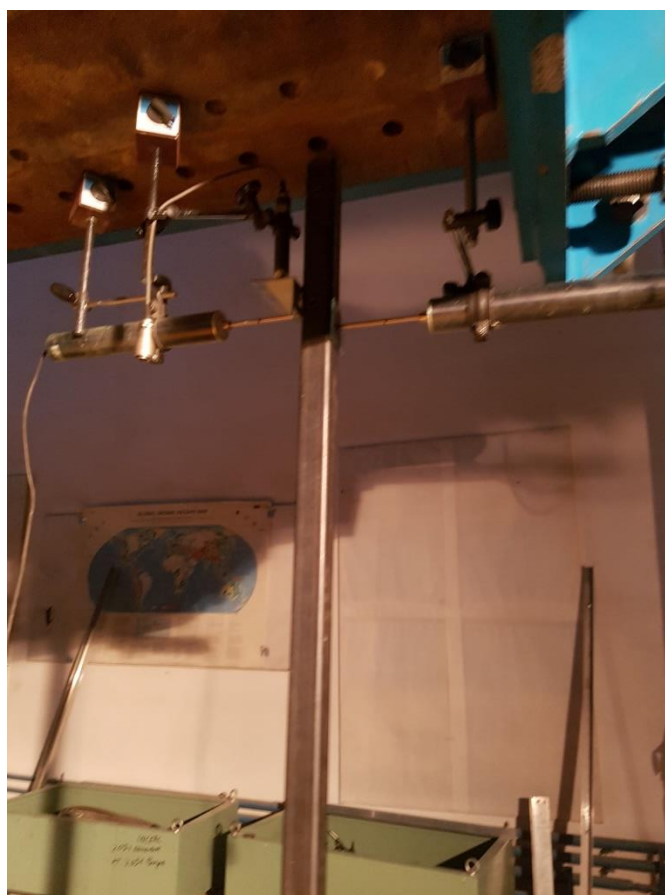


Fig. 5.10 – Montajul traductoarelor nr.1, nr.2 si nr.5



Fig. 5.11 – Montajul traductoarelor pentru specimenul BRB

6. CERINȚE PRIVIND TESTAREA MATERIALELOR

Testarea de materialului din miezul de oțel utilizat la fabricarea eșantioanelor de încercare este necesară. În general, a existat o legatură stransă între rezultatele epruvetelor la tracțiune și eforturile de întindere de la testele uniaxiale la scară largă alea BRB-urilor.

Au fost confectionate 5 epruvete standardizate pentru incercarea la tracțiune din aceleasi placi de otel cu cele din care a fost confectionat miezul de otel al BRB-urilor. Pe epruvete au fost instalate extensiometre pentru a masura alungirile in timpul testarii. Testarile au fost realizate in laboratorul de Materiale de Constructii din Cadrul UTCB. Epruvetele standardizate confectionate au sectiunea dreptunghiulara prezentand o sectiune calibrata si doua capete pentru prinderile in bacurile presei de incercari. In cadrul acestor incercari a fost determinata rezistenta la curgere si la rupere si alungirea specifica la curgere si la rupere a otelului. Forma curbei caracteristice obtinute este specifica pentru cazul materialelor cu palier de curgere, otelul folosit fiind S275. Ruperea s-a realizat prin gatuirea sectiunii incercate. Rezultatele in urma incercarilor la tracțiune sunt:

$$f_{y,m} = 280 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,m} = 440 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{y,m} = 0.2\%$$

$$\varepsilon_{u,m} = 34.8\%$$

unde:

- $f_{y,m}$ = limita de curgere masurata a epruvetelor standardizate
- $f_{u,m}$ = limita de rupere masurata a epruvetelor standardizate
- $\varepsilon_{y,m}$ = alungirea specifcica de curgere masurata a epruvetelor standardizate
- $\varepsilon_{u,m}$ = alungirea specifica de rupere masurata a epruvetelor standardizate

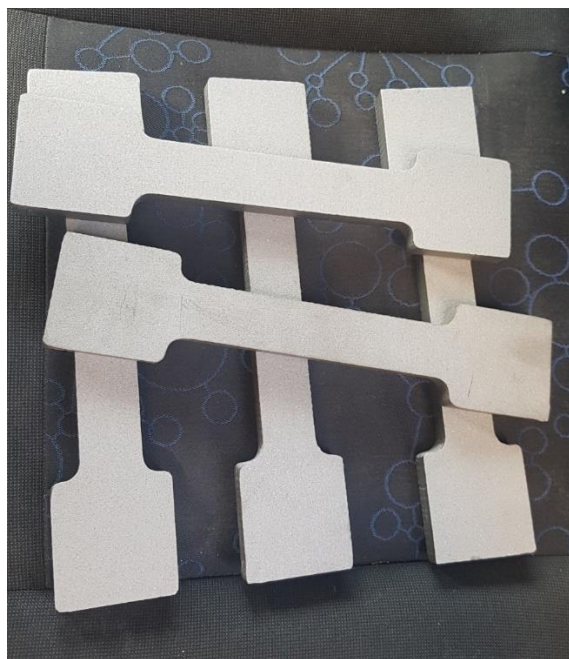


Fig. 6.1 – Epruvete pentru testarea la tracțiune a materialului din miezul de otel BRB



Fig. 6.2 – Testarea la tractiune a epruvetelor standardizate



Fig. 6.3 – Testarea la tractiune a epruvetelor standardizate



Fig. 6.4 – Marcarea reperelor pe epruvete pentru testarea la tractiune



Fig. 6.5 – Epruvetele testate la tractiune

7. VALIDAREA REZULTATELOR TESTARILOR

Rezultatele raportate sunt necesare pentru demonstrarea conformității și pentru determinarea cerințelor de consolidare a oțelului și pentru determinarea suprarezistenței la compresiune. Modelarea neliniară devine mai dezvoltată și mai frecventă utilizată astfel ca producerea de date de testare pentru calibrarea modelării neliniare a elementelor devin o funcție importantă. Există puține date despre comportamentul BRB-urilor dincolo de gama lor de proiectare; astfel de informații pot fi utile în verificarea siguranței sistemului.

Criteriile de acceptare sunt realizate astfel încât datele minime de testare care trebuie transmise sunt compuse din cel puțin un test de subansamblu sau cel puțin un test uniaxial. În multe cazuri eșantionul de încercare pentru subansambluri se califică, de asemenea, drept specimen de încercare pentru BRB. Dacă este efectuată o testare specifică la un anumit proiect pentru subansambluri metoda cea mai simplă este să se efectueze două teste de subansamble pentru a satisface cerințele din această secțiune. Aceste cerințe pot fi îndeplinite printr-un singur subansamblu testat care încorporează de exemplu două contravanturi dispuse într-o configurație de tip chevron sau în alt tip de configurație.

BRB-urile sunt considerate calificate experimental atunci când la încheierea protocolului de încercare intrinsec concomitent următoarele condiții:

- specimenul testat are o comportare ciclică stabilă
- forțele maxime de întindere și compresiune trebuie să fie mai mari decât rezistența la curgere a BRB-ului, pentru toate ciclurile de deformări mai mari de Δy
- raportul dintre forța maximă de compresiune și cea de întindere trebuie să fie mai mic decât 1.3, pentru toate ciclurile de deformări mai mari de Δy
- să nu se producă cedarea îmbinărilor, flambajul global al BRB-ului sau ruperea miezului de oțel

În funcție de mijloacele utilizate pentru îmbinarea specimenului de testare de subansamblu sau de aparatul de testare și sistemul de instrumentație folosit, pot apărea lunecări ale suruburilor în sarcină și se poate reflecta în graficul de displacement history. Acestea pot apărea ca o serie de varfuri descendente reflectate în efortul aplicat și nu sunt, în general, un motiv de îngrijorare, cu condiția ca comportamentul să nu afecteze în mod negativ performanța BRB-ului sau a îmbinării acestuia.

8. BIBLIOGRAFIE

- [1] C.Black, N.Makris, I.Aiken - *Component Testing, Stability Analysis and Characterization of Buckling-Restrained Unbonded Braces* – Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2002
- [2] Chia-Ming Uang, Masayoshi Nakashima and Keh-Chyuan Tsai – Research and application of buckling –restrained braced frames – *Steel Structures* 4 (2004) 301-313
- [3] P100-1/2013 - *Cod de proiectare seismică, Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri*, 2013
- [4] SR EN 1993-1-1, *Eurocod 3:- Proiectarea structurilor de oțel, Partea 1-1:Reguli generale si reguli pentru clădiri*, ASRO, 2006
- [5] *Star Seismic® | Buckling Restrained Braces* - <http://www.starseismic.eu/>
- [6] SR EN 1998-1, *Eurocod 8: Proiectarea structurilor pentru rezistenta la cutremur, Partea 1: Reguli generale, actiuni seismice si reguli pentru clădiri*, ASRO, 2004
- [7] Dipti R.Sahoo, Shih-Ho Chao – Performances-based plastic design method for buckling restrained braced frames – *Engineering Structures*, 17 July 2010
- [8] ANSI/AISC 341-16, “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*”, INC, (2016).
- [9] Yuanjie Li – *Performance-based design and evaluation of innovative steel knee braced truss moment frames* – B.Sc., South China University of Technology, 2012 , B.Sc., Polytechnic Institute of New York University, 2012
- [10] EN15129 – *Normativ european pentru dispozitive antiseismice*, CEN, 2009
- [11] Hiroshi NAKAMURA, Toru TAKEUCHI, Yasushi MAEDA, Yasuhiro NAKATA – *Fatigue properties of practical-scale unbonded braces* – Nippon Steel Technical Report No.82 July 2000
- [12] László Dunai D.Sc. Professor Head of Department - *Type testing of buckling restrained braces according to EN 15129* , Budapest University of Technoogy and Economics – Department of structural engineering, 2011
- [13] FEMA 273: *NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*, BSSC, 1997
- [14] Recommended Testing Procedure for Assessing the Behaviour of Structural Steel Elements under Cyclic Loads, ECCS – Technical Committee 1 – Structural Safety and Loadings Technical Working Group 1.3 – Seismic Design, (1986).
- [15] Zsarnóczay, Á, Vigh, L. G, “*Experimental analysis of buckling restrained braces: Performance evaluation under cyclic loading*”, Proc of. 6th European Conference on Steel and Composite Structures, Budapest, Hungary, pp. 945-950 (2011).