
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 3 / 2016
Încercări experimentale pe dispozitivele BRB*

Rezumat

Raportul tehnic și științific a sintetizat activitățile desfășurate în cadrul etapei 3 / 2016 a proiectului "Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravânturilor cu flambaj împiedicat (IMSER)". Obiectivele asumate în planul de realizare au fost atinse. Au fost proiectate speci­menele experimentale și întocmit caietul de sarcini cu prevederi privind tehnologia de execuție a contravânturilor cu flambaj împiedicat (activitatea 3.1). În baza acestora au fost fabricate speci­menele experimentale ale BRB-urilor, precum și epruvetele pentru încercări de tracțiune, speci­mene pentru studiul zonei de tranziție și elemente ale standului experimental (activitatea 3.2). Au fost efectuate încercări experimentale pe speci­mene pentru studiul zonei de tranziție și pe probele de tracțiune. Încercările experimentale pe contravânturile cu flambaj împiedicat sunt în curs de desfășurare (activitatea 3.3). Performanță speci­menelor experimentale a fost analizată în cadrul activității 3.4. Rezultatele obținute au fost diseminate prin intermediul paginii web a proiectului. Au fost organizate câteva întruniri de lucru pentru coordonarea activităților desfășurate în cadrul proiectului (activități 3.5 și 3.6).

Cuprins

1	INTRODUCERE	3
2	SINTEZA ACTIVITĂȚILOR.....	3
2.1	PROIECTARE FINALĂ, DESENE ȘI CAIET DE SARCINI PENTRU SPECIMENELE EXPERIMENTALE (ACT. 3.1)	3
2.2	FABRICAREA SPECIMENELOR EXPERIMENTALE ȘI A STANDULUI DE ÎNCERCARE (ACT. 3.2).....	6
2.3	ÎNCERCAREA EXPERIMENTALĂ A DISPOZITIVELOR BRB (ACT. 3.3).....	9
2.4	EVALUAREA CRITERIILOR DE PERFORMANȚĂ A DISPOZITIVELOR BRB (ACT. 3.4)	12
2.5	COORDONAREA ȘI ORGANIZAREA ACTIVITĂȚILOR DE CERCETARE, PARTICIPARE CONFERINȚE ȘI WORKSHOP-URI, PARTICIPARE GRUPURI DE LUCRU ECCS TC13 ȘI CEN SC8, PUBLICARE ARTICOLE (ACT. 3.5)	13
2.6	ÎNTÂLNIRI DE LUCRU PENTRU PREGĂTIREA ȘI ANALIZA ÎNCERCĂRILOR EXPERIMENTALE (ACT. 3.6)	14
3	CONCLUZII	14

1 Introducere

În cadrul etapei 3 / 2016 a proiectului "Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (IMSER)" au fost prevăzute următoarele activități:

- Act. 3.1 Proiectare finală, desene și caiet de sarcini pentru speci­menele experimentale
- Act. 3.2 Fabricarea speci­menelor experimentale și a standului de încercare
- Act. 3.3 Încercarea experimentală a dispozitivelor BRB
- Act. 3.4 Evaluarea criteriilor de performanță a dispozitivelor BRB
- Act. 3.5 Coordonarea și organizarea activităților de cercetare, participare conferințe și workshop-uri, participare grupuri de lucru ECCS TC13 și CEN SC8, publicare articole
- Act. 3.6 Întâlniri de lucru pentru pregătirea și analiza încercărilor experimentale

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

2 Sinteza activităților

2.1 Proiectare finală, desene și caiet de sarcini pentru speci­menele experimentale (Act. 3.1)

În cadrul acestei etape s-au elaborat proiectul tehnic (UPT) și proiectului de execuție (HYDROMATIC SISTEM SRL) pentru speci­mene și standul experimental. Speci­menele proiectate au capacități nominale de 300 kN, respectiv 700 kN.

Elaborarea proiectului tehnic pentru speci­mene a avut la bază metodologia finală de proiectare a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (BRB). Proiectul tehnic pentru standul experimental a constatat în proiectarea elementelor principale ale acestuia (stâlp, îmbinări), în determinarea capacităților necesare și numărul actuatorilor hidraulici pe baza forțelor maxime dezvoltate de BRB-uri, alcătuirea unui sistem de ghidare.

Pentru proiectarea BRB-urilor a fost elaborată o procedură de calcul, având la bază pretestările numerice și experimentale efectuate. Procedura de proiectare cuprinde următoarele etape:

1. Alegerea factorilor de suprazistență utilizați la dimensionarea mecanismului de împiedicare a flambajului, BRM (vezi Figura 1):
 - suprazistența de material: $\gamma_{ov} = 1,25$ (S355).
 - Factorul de consolidare la întindere: $\omega = 1,4$.
 - Factorul de corecție a capacității la compresiune: $\beta = 1,15$.
2. Dimensionarea zonei disipative a miezului: satisfacerea verificărilor de rezistență:
 - $N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1,0$.
3. Dimensionarea zonei de îmbinare (vezi Figura 1):
 - Verificarea la întindere $N_{j,Ed}/N_{j,pl,Rd} \leq 1,0$; ($N_{j,Ed} = A_c \cdot f_y \cdot \gamma_{ov} \cdot \omega \cdot \beta$).
 - Secțiunea transversală să fie de clasă 1 ($b_j/t_j < 9\epsilon$, conform Tab. 5.2 din EN 1993-1-1) pentru prevenirea pierderii stabilității elementelor zonei de îmbinare.
 - Verificarea la compresiune $N_{j,Ed}/N_{j,cr} \leq 1,0$; ($N_{j,cr} = \pi^2 \cdot E_c \cdot I_{trans,c} / (k^2 (L_{b,l} + L_{gap})^2)$)
 - Asigurarea unei lungimi adecvate a zonei de îmbinare: $L_b - L_{gap} \geq H_j$.
4. Dimensionarea lungimii spațiului de siguranță: $L_{gap} \geq \epsilon_c \cdot L_c$, ($\epsilon_c = 3,0\%$, cerința de deformație specifică a miezului). BRB-ul va fi capabil să dezvolte $2 \cdot \epsilon_c$ (vezi Figura 1).
5. Dimensionarea tecii de oțel: $N_{cr}/N_{pl,Rd} \geq b \cdot w = 1,61 \geq 1,5$ (prevenirea pierderii stabilității globale); unde $N_{cr} = \pi^2 \cdot (E_{mortar} \cdot I_{mortar} + E_{teacă} \cdot I_{teacă}) / L^2$, (se consideră aportul parțial al mortarului). Pentru detaliul de îmbinare adoptat, lungimea de flambaj s-a considerat egală cu lungimea miezului între gusele prinderilor.

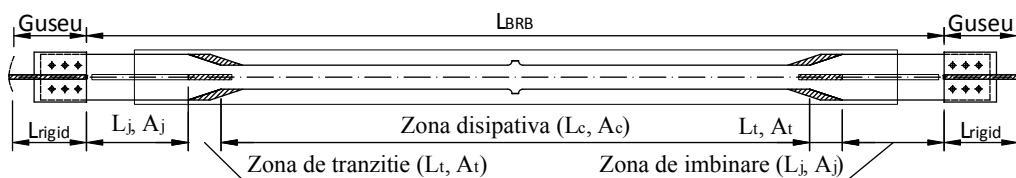


Figura 1. Alcătuirea unei contravântuiri cu flambaj împiedicat

Pe baza rezultatelor obținute la proiectarea BRB-urilor de 300 kN, respectiv de 700 kN, au fost proiectate elementele componente ale standului la un nivel al forțelor majorat de 1,1 ori față de forțele maxime de întindere și de compresiune dezvoltate de contravântuiri, astfel:

1. Îmbinări BRB – guseu: pentru BRB-ul de 300 kN, respectiv cel de 700.
2. Îmbinări guseu – stâlp și guseu – grindă de reacțiune: câte un set pentru fiecare capacitate de contravântuire.
3. Stâlpul HEB 340 și îmbinările acestuia cu piesa de transfer a actuatorilor hidraulici și cu grinda de reacțiune : aceste verificări au fost efectuate la forțele dezvoltate de BRB-ul de 700 kN.

Pe baza dimensiunilor de gabarit ale elementelor componente ale standului, a fost proiectat sistemul de ghidare în vederea împiedicării deplasării în afara planului a ansamblului BRB-stâlp, asigurând astfel condiții similare cu cele din structura unei clădiri reale. Elementele de ghidare ale stâlpului prezintă la extremități elemente din politetrafluoroetilenă (PTFE), rezultând un coeficient de frecare foarte mic între elementele ce alunecă relativ unele față de celelalte.

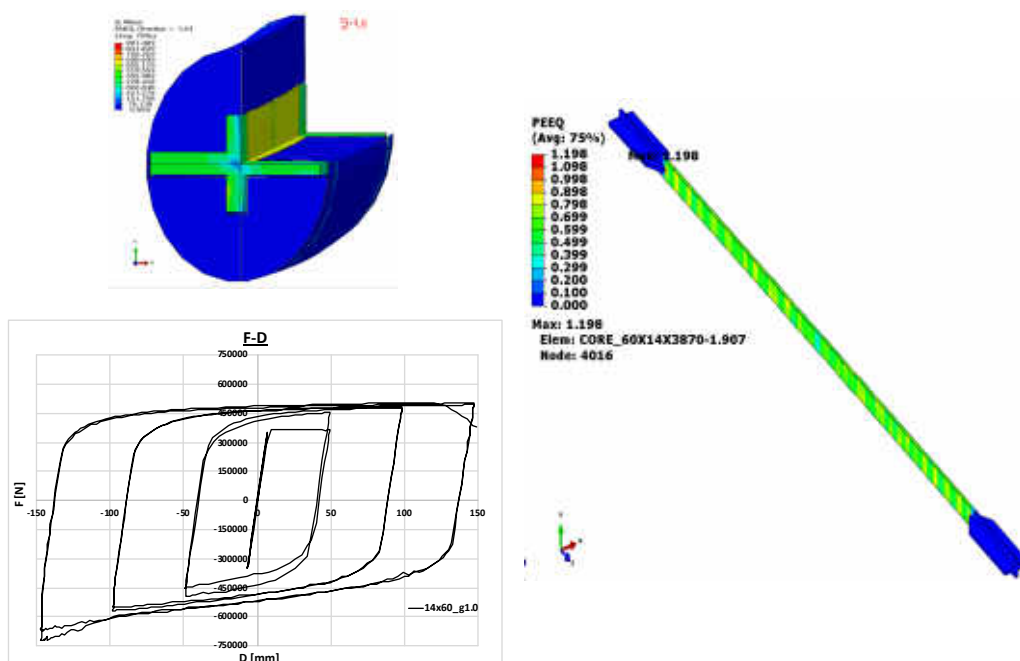


Figura 2. MEF: răspunsul ciclic al contravânturii BRB cu capacitatea de 300 kN

Rezultatele analitice corespunzătoare dimensionării BRB-urilor și cele de la dimensionarea îmbinării guseu-stâlp au fost comparate cu rezultatele analizelor bazate pe metoda elementului finit, MEF. În acest sens, au fost realizate modelele numerice ale elementelor precizate mai sus. Rezultatele MEF confirmă rezultatele analitice. În Figura 2 și Figura 3 sunt prezentate rezultatele MEF obținute pe modelul contravânturii și, respectiv, pe îmbinarea guseu-stâlp.

Pe baza dimensiunilor rezultate din proiectarea elementelor componente ale BRB-urilor și standului, au fost realizate desenele necesare execuției acestora. Au fost realizate planșe de montaj, de ansamblu și de poziție pentru 3 tipologii de BRB-uri (CR, CS, D (vezi Tabelul 3)), însumând 14 BRB-uri distincte. În

Figura 5 se prezintă o planșă de ansamblu pentru execuția BRB-ului CR71 .De asemenea, au fost realizate desenele de execuție pentru elementele componente ale standului: desene pentru stâlp, desene pentru realizarea îmbinărilor cu guseu (vezi Figura 4), desene de montaj.

S-a elaborat caietul de sarcini, care conține condițiile tehnice de execuție ale BRB-urilor și tehnologia fabricării acestora. Caietul de sarcini face referire la următoarele aspecte: date generale despre proiect, materiale utilizate, etapele de realizare BRB/stand, proceduri și tehnologii de execuție, condiții de calitate și recepție a pieselor, elementelor și ansamblurilor.

În cadrul etapelor de realizare a BRB-urilor, au fost elaborate: tehnologia de aplicare a unui strat neaderent între miezul de oțel și mortar, tehnologia de punerea în operă a mortarului și tehnologia de sudare a elementelor structurale. Au fost realizate extrase de materiale atât pentru BRB-uri cât și pentru stand.

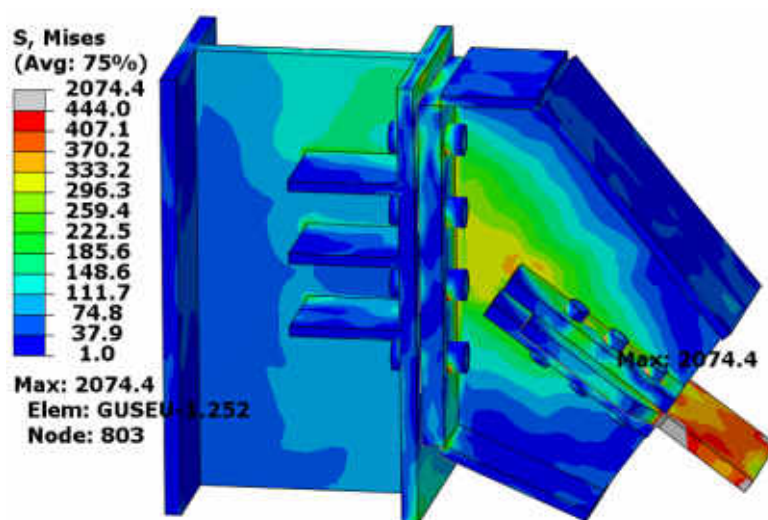


Figura 3. MEF: starea de eforturi în îmbinarea BRB-Guseu-Stâlp

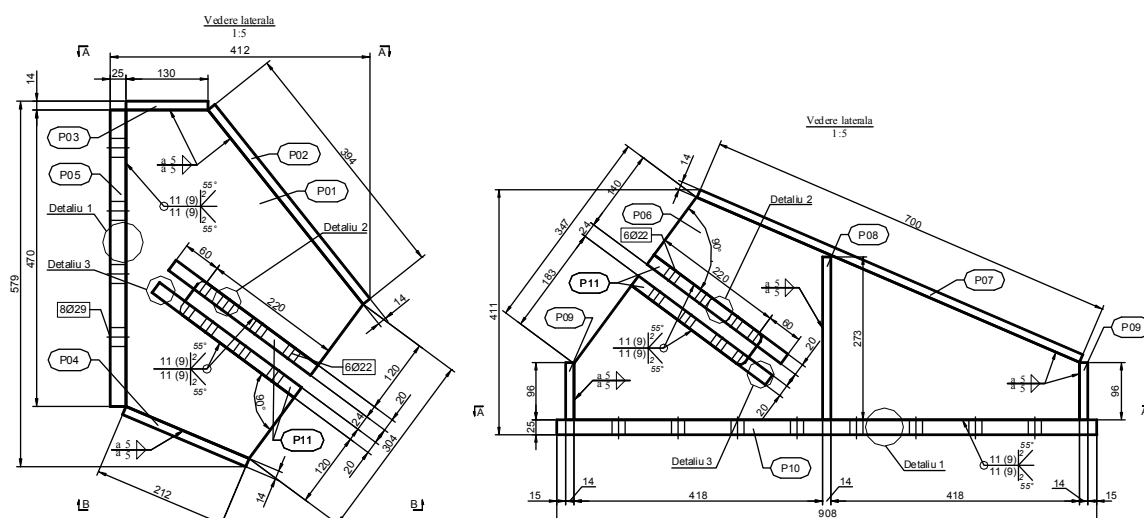


Figura 4. Ansambluri de îmbinări cu guseu pentru BRB 700 kN

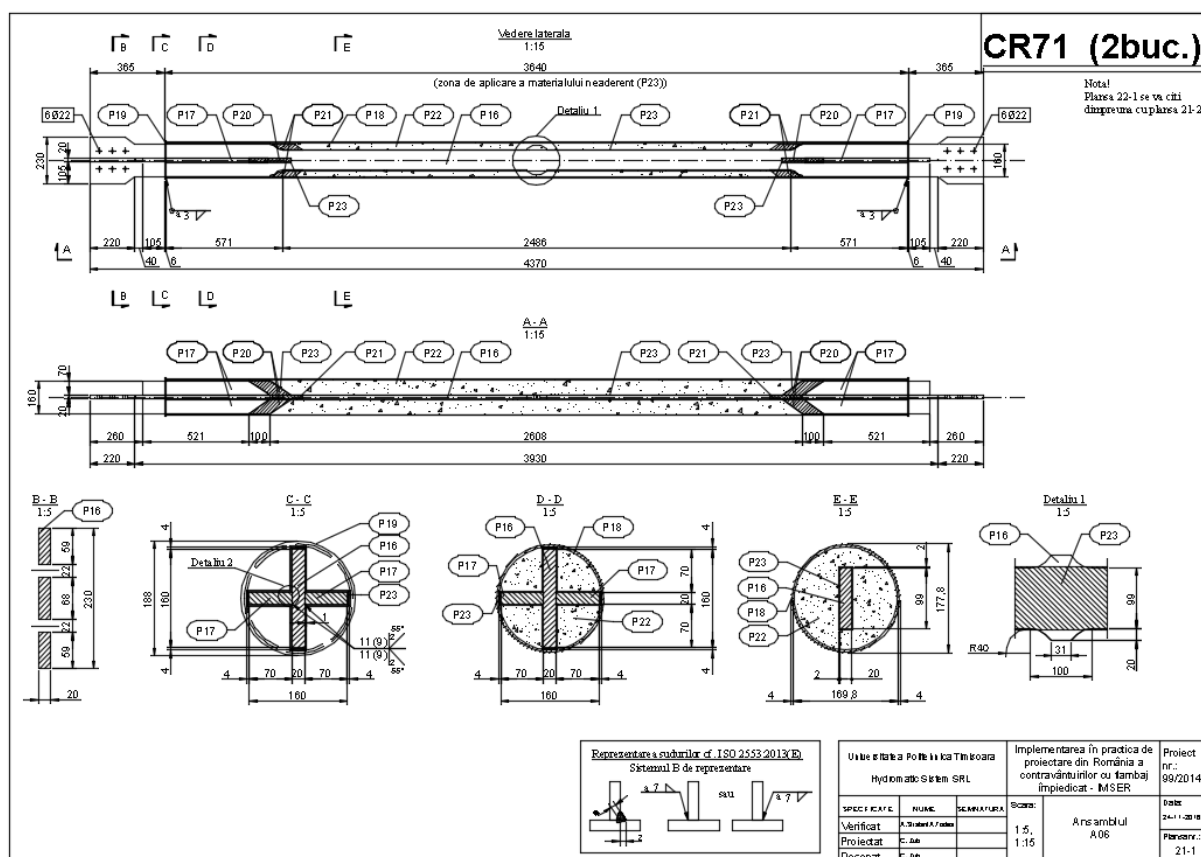


Figura 5. Planşă de ansamblu BRB: CR71

2.2 Fabricarea specimenelor experimentale şi a standului de încercare (Act. 3.2)

În cadrul acestei etape, pe baza cerinţelor din proiectul tehnic şi a celor din caietul de sarcini au fost fabricate 14 BRB-uri, 9 specimene pentru studiul zonei de tranziţie, standul experimental şi seturi a câte trei epruvete pentru încercări la tracţiune.

Pentru a studia câteva variante constructive de realizare a zonei de îmbinare a BRB-urilor, au fost fabricate nouă specimene de dimensiuni similare miezurilor reale, însă de lungimi reduse. Specimenele se grupează în trei concepte tip de BRB în funcţie de geometria miezului:

1. Miez obţinut prin debitare cu laser (TAL sau prin frezare (TAF) a unei table/platbenzi de oţel, pe care se sudează două rigidizări perpendicular pe aceasta. Tranziţia se realizează prin intermediul unei razei de racord.
2. Miez obţinut prin sudarea a patru rigidizări pe un profil de secţiune compactă (oţel pătrat/rotund). Sudarea rigidizărilor s-a realizat fie cu electrozi de rezistenţă normală (TCLM), fie cu electrozi de înaltă rezistenţă (TCLH).
3. Miez obţinut prin sudarea a două rigidizări perpendicular pe o platbandă de secţiune constantă (TDF).

Odată cu fabricarea celor nouă specimene pentru studiul zonei de tranziţie, au fost prelevate două seturi de epruvete de material, după cum urmează: setul 1: trei epruvete debitate cu laser-ul (mAL), trei epruvete debitate cu freza (mAF) (ambele seturi perpendicular pe direcţia de laminare), trei epruvete prelucrate la strung (mCF) (oţel rotund); setul 2: epruvete debitate fie cu laser-ul, fie cu freza, atât după direcţia de laminare (0°), cât şi perpendicular pe aceasta (90°) (vezi Figura 7).

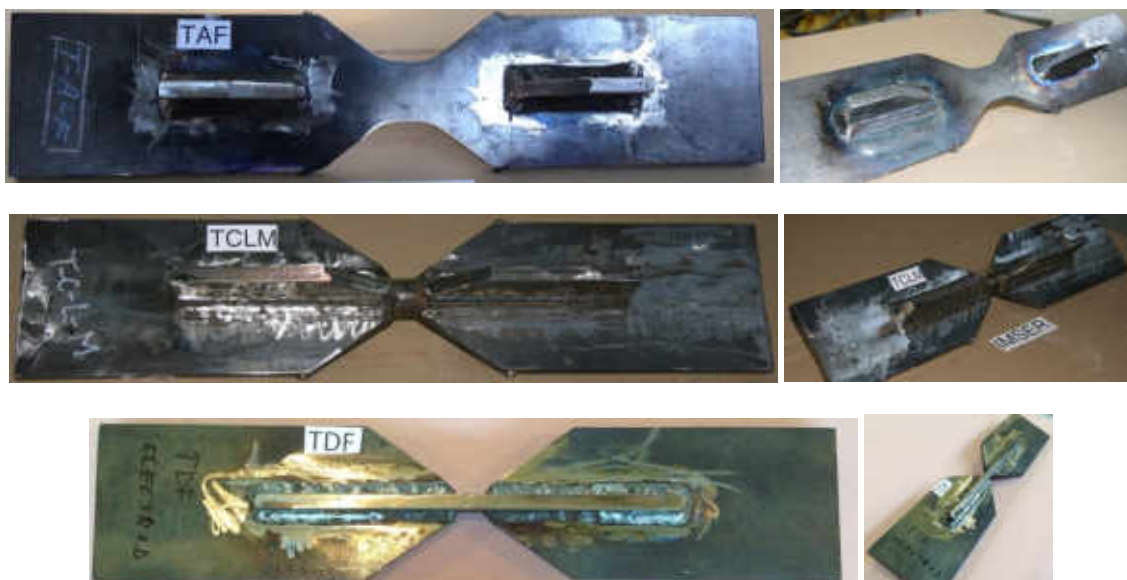


Figura 6. Specimene pentru studiul zonei de îmbinare

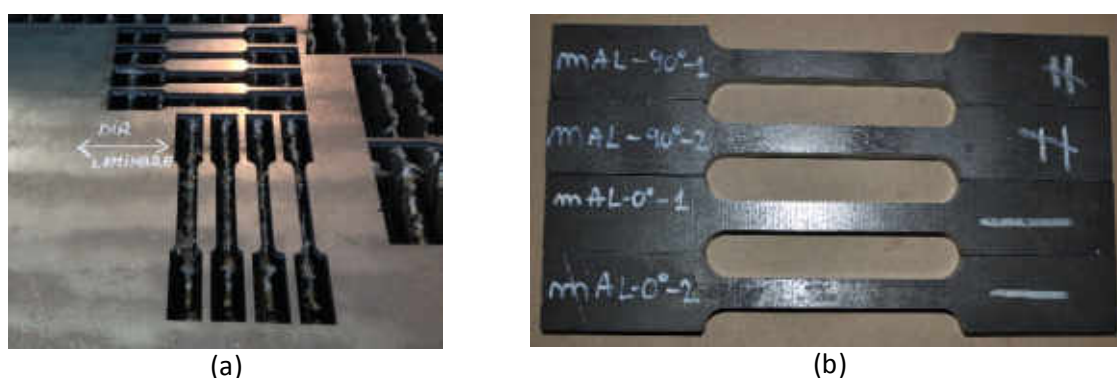


Figura 7. Setul 2 de epruvete de material: (a) direcția de prelevare; (b) epruvete

Pentru stratul neaderent au fost analizate mai multe materiale (notate M_i) (vezi Figura 8):

- M_1 – adeziv poliuretanic monocomponent elastic, aplicabil cu șpaclu cu dinți. Aplicarea în două etape a acestui material a dus la un timp îndelungat de punere în operă; aplicare a fost neuniformă, dificilă cu prelingerii de material. Nu s-a putut controla cu exactitate grosimea stratului de 2 mm. Din aceste cauze s-a renunțat la acest tip de material.
- M_2 – bandă acrilică autoadezivă (2 mm) alcătuită dintr-o folie transparentă de poliester detașabilă, un strat suport subțire din copolimer acrilic + etilenă și un strat de 1,9 mm de adeziv acrilic. Aplicarea este uniformă, facilă, „curată”; grosimea necesară de 2 mm este controlată exact; timpul de aplicare este redus; se mulează perfect pe muchii, nu rămân goluri de aer (utilizarea roller-ului).
- M_3 – bandă autoadezivă (2,4 mm), alcătuită dintr-o folie detașabilă, un strat suport de spumă acrilică (2,3 mm) și un strat subțire de adeziv acrilic. Caracteristicile sunt asemănătoare materialului M_2 . S-a constatat o aderență mai redusă.
- M_4 – bandă acrilică autoadezivă (1 mm), alcătuită dintr-o folie detașabilă, un strat suport de spumă acrilică și un strat de adeziv acrilic transparent. Proprietăți similare cu celelalte benzi.

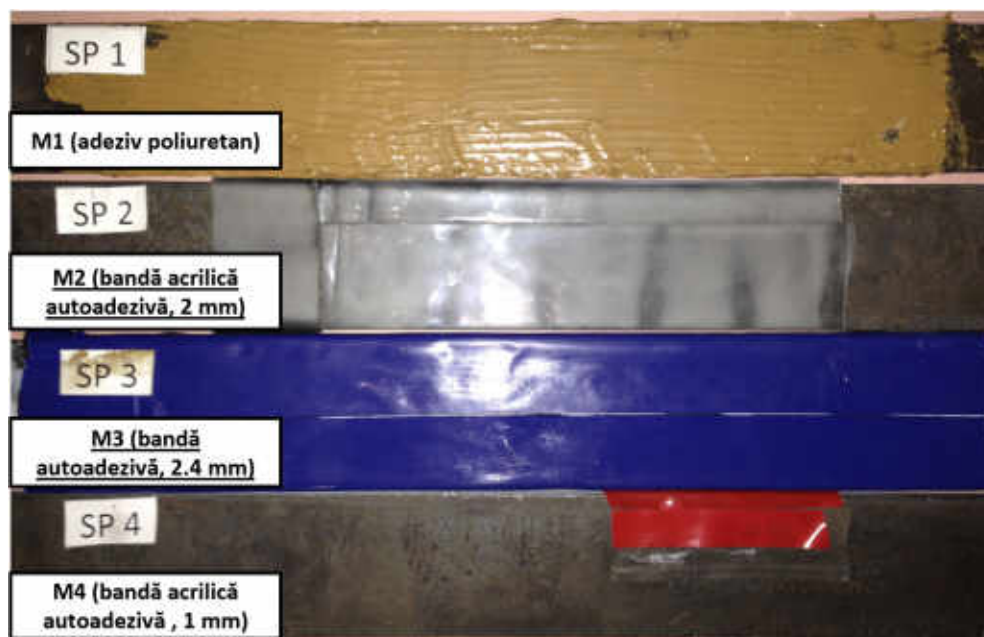


Figura 8. Materiale neaderente aplicate pe epruvete din oțel

A fost elaborată tehnologia de realizare și punere în operă a materialului de confinare a miezului. În acest sens, au fost analizate ca posibile materiale de umplură mortarul pe bază de ciment și beton autocompactant. Dat fiind faptul că volumele de turnat sunt relativ mici, iar interstițiile care ar trebui umplute cu material sunt de asemenea de dimensiuni mici, s-a optat pentru mortar, care poate fi realizat cu ușurință, și în cantități reduse ($< 1 \text{ m}^3$), iar caracteristicile dorite sunt controlabile. Materialele necesare realizării mortarului sunt: mortar de ciment (pulberea disponibilă în saci de 25 kg), apă (3 l / sac mortar), agregate de râu de dimensiuni 4-8 mm (4 kg / sac mortar).

Tehnologia de realizare a mortarului cuprinde două faze: Faza 1: amestecarea pulberii de mortar cu apă se realizează conform fisei tehnice a produsului; Faza 2: amestecarea mortarului obținut la faza 1 cu agregate de 4 – 8 mm până la omogenizarea amestecului.

Tehnologia de turnare a mortarului în BRB. Mortarul obținut la faza 2 se va turna cât mai repede posibil (în max. 15 min.) în BRB cu ajutorul unui furtun/tub (de diametru $d = 50\text{mm}$) și pâlnie. Turnarea se va face în poziție verticală, asigurându-se vibrarea mortarului. Volumul de mortar turnat se va umfla cca. 2%, fapt ce impune lăsarea unui capăt liber pentru eventuala expansiune a mortarului.

De asemenea a fost elaborată și tehnologia de sudare a elementelor componente ale BRB-ului și standului. În Figura 9 sunt prezentate etapele tehnologice necesare realizării sudurii structurale dintre rigidizări și miezul de oțel al BRB-ului.

Etapele de realizare a unei contravântuiri BRB cu mortar sunt următoarele:

- Etapa 1: Realizarea pieselor componente conform planșelor.
- Etapa 2: Sudarea rigidizărilor la capetele miezului central al contravântuirii.
- Etapa 3: Dispunerea bucăților de polistiren în capătul rigidizărilor și în zona de racord a miezului central.
- Etapa 4: Acoperirea întregii suprafețe a miezului central, și respectiv a rigidizărilor cu o bandă adezivă acrilică de 2 mm grosime.
- Etapa 5: Introducerea și centrarea miezului în teaca din oțel.
- Etapa 6: Prepararea și turnarea mortarului în teacă.
- Etapa 7: sudarea capacului superior.



Figura 9. Etape în realizarea sudurii dintre rigidizări și miezul de oțel al BRB: prelucrarea pieselor, centrare, aplicarea strat 1 de sudură, polizare, aplicarea straturilor 2 și 3 de sudură

2.3 Încercarea experimentală a dispozitivelor BRB (Act. 3.3)

În cadrul acestei etape au fost efectuate încercări pe contravântuiri cu flambaj împiedicat, BRB, precum și pe epruvete pentru încercări la tracțiune, pe specimene pentru studiul zonei de tranziție, teste pe materiale neaderente. În Tabelul 1, Tabelul 2 și Tabelul 3 este prezentat succint programul experimental.

Încercările la tracțiune au demonstrat diferențe semnificative între răspunsul epruvetelor debitate cu freza (mAF) și a celor debitate cu laser (mAL), toate epruvetele fiind realizate din aceeași tablă și de pe aceeași direcție de prelevare. S-a constatat un răspuns superior al epruvetelor tăiate cu freza în termeni de ductilitate. Aceeași observație s-a constatat și în cazul epruvetelor debitate cu laser dar de pe direcții de prelevare diferite; un răspuns superior avându-l epruvetele prelevate paralel cu direcția de laminare (vezi Figura 10).

Tabelul 1. Programul experimental: epruvete pentru încercări de material

Epruvetă tip	mAL		mAF	mCL
Direcția de prelevare	long.	transv.	long.	transv.
Secțiune [mm]	15x15	15x15	15x15	Ø 17
Încărcare	întindere	întindere	întindere	întindere

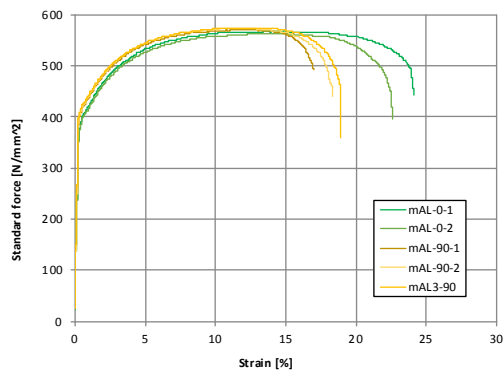
Tabelul 2. Programul experimental: specimene pentru studiul zonei de tranziție

	TAL	TAF	TCLM	TCLH	TDF
Rezistența nominală	300 kN	300 kN	300 kN	300 kN	300 kN
Secțiune	15x57	15x57	Ø 35	Ø 35	15x60
Încărcare	ciclică	ciclică	ciclică	ciclică	ciclică

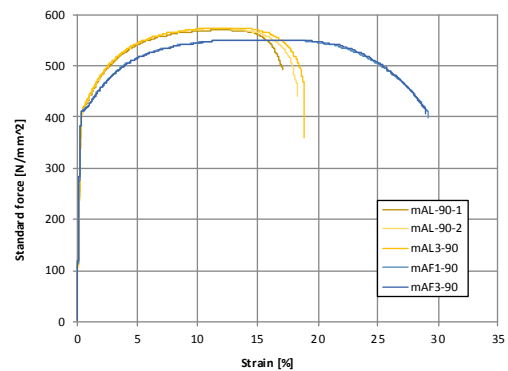
Tabelul 3. Programul experimental: specimene BRB

	BRB "conv."					BRB "uscat"	
Rezistența nominală	300 kN	700 kN	300 kN	700 kN	700 kN	300 kN	700 kN
N_{cr}/N_{pl}	3	3	3	3	1.5	3	3
Secțiune	14x60	20x99	30*30	45*45	20x99	14x60	20x99
Denumire specimen	CR33-1	CR73-1	CS33-1	CS73-1	CR71-1	DR33-1	DR73-1
	CR33-2	CR73-2	CS33-2	CS73-2	CR71-2	DR33-2	DR73-2

Specimenelor pentru studiul zonei de tranziție au fost încercate ciclic. Răspunsul specimenelor TAF și TAL au fost asemănătoare, remarcându-se o rezistență mai mare a specimenelor debitate cu laser. Specimenele TCLM și TCLH au avut răspunsuri similare: TCLH a avut o rezistență post-elastică puțin mai mare; s-au constatat amorse de fisură la ambele specimene dar care nu au evoluat (vezi Figura 11). Încercările pe specimene pentru studiul zonei de tranziție și încercările de tracțiune au avut ca și scop alegerea procedurii de debitare a miezului BRB-urilor. Cu toate că tăierea cu laser oferă avantajul unui cost redus și a unui timp redus de fabricare, s-a dovedit că aceasta afectează termic materialul, conducând la un răspuns nefavorabil. Pe de altă parte, sudarea unor rigidizări pe un profil cu secțiune compactă (circulară sau pătrată) nu conduce la ruperi fragile. Prin urmare, pentru fabricarea miezului BRB-urilor s-au adoptat două soluții: (1) debitarea cu freza pe direcția laminării și (2) sudarea unor rigidizări pe un profil cu secțiune pătrată.

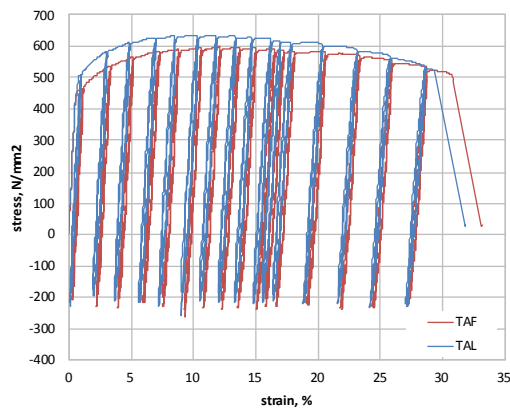


(a)

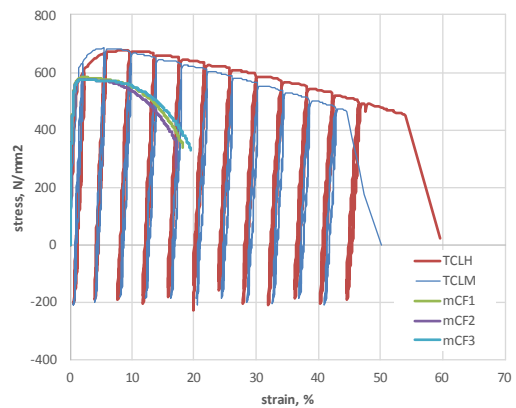


(b)

Figura 10. Răspunsul $\sigma-\varepsilon$ al epruvetelor la încercări de tracțiune: (a) mAL vs. mAF; (b) mAL-0 vs. mAL-90



(a)



(b)

Figura 11. Răspunsul $\sigma-\varepsilon$ al specimenelor pentru studiul zonei de tranziție la încercări ciclice: (a) TAF vs. TAL; (b) TCLM vs. TCLH (vs. mCF)

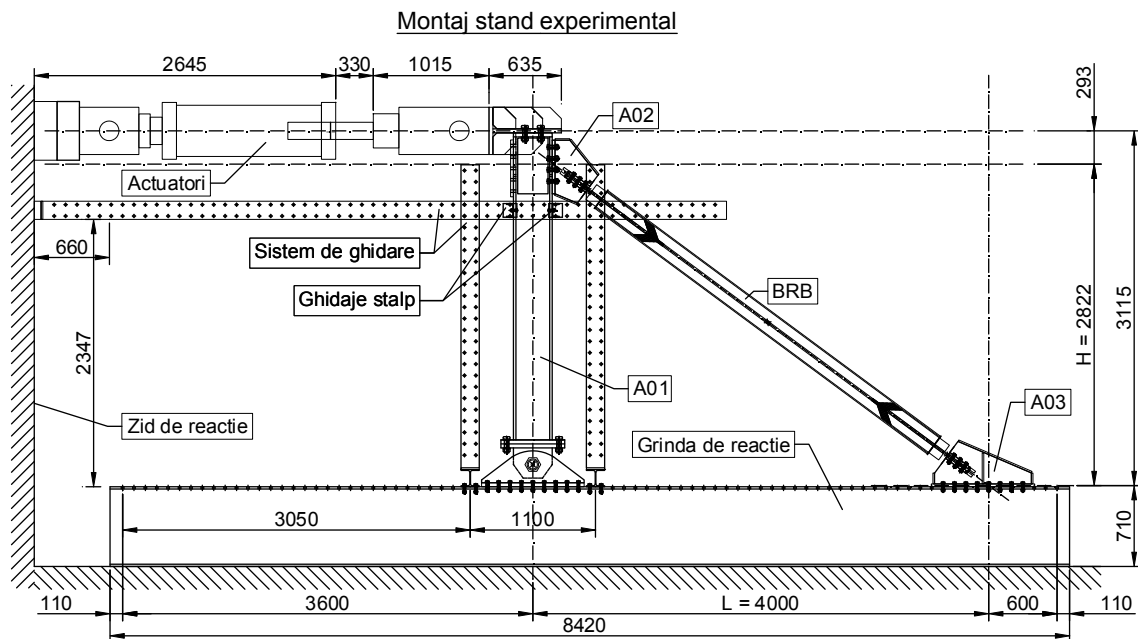


Figura 12. Montajul standului experimental pentru testarea BRB-urilor

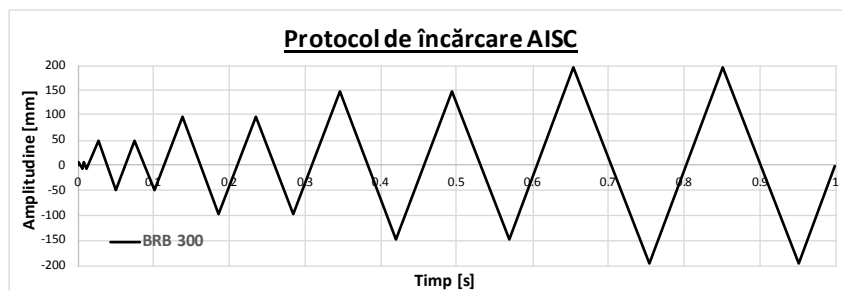


Figura 13. Protocolul de încărcare conform AISC

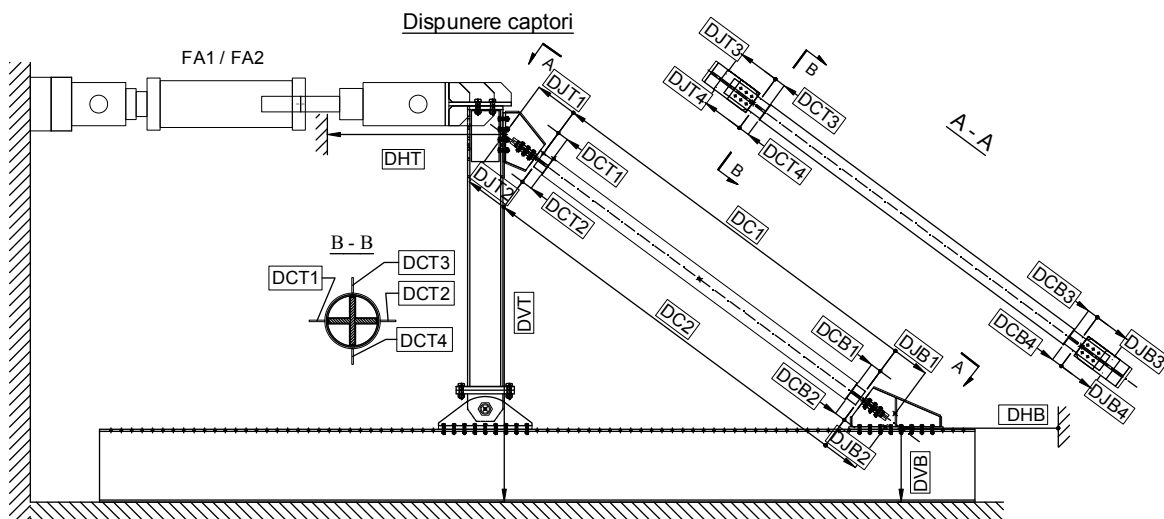


Figura 14. Schema de dispunere a captorilor de deplasare folosiți la încercări

BRB-urile sunt testate conform prevederilor codului AISC 341-10, acestea fiind introduse într-un subansamblu alcătuit dintr-o grindă de reacțiune (fixă) și un stâlp vertical. Încărcarea s-a realizat prin intermediul unor actuatori servohidraulici (1 actuator pentru contravântuirea de 300 kN și 2 actuatori pentru cea de 700 kN). A fost prevăzut un sistem de împiedicare a deplasărilor subansamblului BRB-stâlp în afara planului. În Figura 12 este prezentat montajul standului experimental, iar în Figura 13 este prezentat protocolul de încărcare ciclică.

Pentru a monitoriza răspunsul specimenelor, datele furnizate de captorii de forță și deplasare montați pe ansamblul experimental au fost preluate și stocate în format electronic prin intermediul unei stații de achiziție. Forțele aplicate de cei doi actuatori au fost măsurate prin intermediul celulelor de forță integrate în aceștia. Deformațiile și deplasările au fost înregistrate cu o serie de captori potențiometrici. Schema dispunerii captorilor de deplasare este prezentată în Figura 14.

2.4 Evaluarea criteriilor de performanță a dispozitivelor BRB (Act. 3.4)

În cadrul acestei etape au fost prelucrate datele prelevate din cadrul activității 3.3. Au fost determinate o serie de parametri, după cum urmează:

Deformația axială a miezului BRB, D_c : determinată ca valoare medie a citirilor înregistrate de captorii DC1 și DC2:

$$D_c = (D_{c1} + D_{c2}) / 2$$

Deformația axială a părții superioare miezului BRB, D_{ct} : determinată ca valoare medie a citirilor înregistrate de captorii DCT1, DCT2, DCT3 și DCT4:

$$D_{ct} = (DCT1 + DCT2 + DCT3 + DCT4) / 4$$

Deformația axială a îmbinării la partea superioară a BRB-ului, D_{jt} : determinată ca valoare medie a citirilor înregistrate de captorii DJT1, DJT2, DJT3 și DJT4:

$$D_{jt} = (DJT1 + DJT2 + DJT3 + DJT4) / 4$$

Deformația axială totală BRB-ului, D_n : determinată ca suma dintre citirile mediate pe zone:

$$D_n = D_c + D_{ct} + D_{jt}$$

Rotirea îmbinării în planul cadrului la partea superioară a BRB-ului, $\theta_{jt,i}$: determinată ca raportul dintre deplasarea relativă dintre captorii DJT1 și DJT2, și distanța dintre captori, d_{jt} :

$$\theta_{jt,i} = (DJT1 - DJT2) / d_{jt}$$

Rotirea tecii față de miez în planul cadrului la partea superioară a BRB-ului, $\theta_{ct,i}$: determinată ca raportul dintre deplasarea relativă dintre captorii DCT1 și DCT2, și distanța dintre captori, d_{ct} :

$$\theta_{ct,i} = (DCT1 - DCT2) / d_{ct}$$

Rotirea tecii în planul cadrului la partea superioară a BRB-ului, $\theta_{t,i}$: determinată ca suma rotirilor componente:

$$\theta_{t,i} = \theta_{jt,i} + \theta_{ct,i}$$

Rotirea îmbinării în afara planului cadrului la partea superioară a BRB-ului, $\theta_{jt,o}$: determinată ca raportul dintre deplasarea relativă dintre captorii DJT3 și DJT4, și distanța dintre captori, d_{jt} :

$$\theta_{jt,o} = (DJT3 - DJT4) / d_{jt}$$

Rotirea tecii față de miez în afara planului cadrului la partea superioară a BRB-ului, $\theta_{ct,o}$: determinată ca raportul dintre deplasarea relativă dintre captorii DCT3 și DCT4, și distanța dintre captori, d_{ct} :

$$\theta_{ct,o} = (DCT3 - DCT4) / d_{ct}$$

Rotirea tecii în afara planului cadrului la partea superioară a BRB-ului, $\theta_{t,o}$: determinată ca suma rotirilor componente:

$$\theta_{t,o} = \theta_{jt,o} + \theta_{ct,o}$$

În mod similar au fost determinate valorile parametrilor: D_{cb} , D_{jb} , $\theta_{jb,i}$, $\theta_{cb,i}$, $\theta_{b,i}$, $\theta_{jb,o}$, $\theta_{cb,o}$, $\theta_{b,o}$.

Forța laterală, V_b : a fost determinată pe baza celulelor de forță din actuatori (FA1 / FA2).

Forța axială în contravântuirea cu flambaj împiedicat, $N = V_b / \cos(\alpha)$.

Deplasarea relativă de nivel, Δ : reprezintă diferența dintre deplasările orizontale între vârful și baza stâlpului, corectată cu deformațiile datorate rotirii de corp rigid:

$$\Delta = DHT - DHB - (DVT - DVB) \frac{L}{H}$$

Factorul de consolidare, ω : reprezintă raportul dintre forța maximă de întindere T_{max} și forța de curgere N_{pl} a BRB-ului.

$$\omega = \frac{T_{max}}{N_{pl}}$$

Factorul de suprarezistență la compresiune, β : reprezintă raportul dintre forța maximă de compresiune C_{max} și forța maximă de întindere T_{max} a BRB-ului.

$$\beta = \frac{C_{max}}{T_{max}}$$

Energia histeretică E_h : reprezintă energia disipată de miezul BRB și se determină ca și aria din interiorul curbei $N-D_c$.

$$E_h = \int N \cdot dD_c$$

Deformația plastică cumulativă, η : reprezintă suma deformațiilor plastice pozitive și negative din curba $N-D_c$.

$$\eta = \sum D_{ci}$$

În vederea utilizării BRB-urilor în cadrul proiectării bazate pe criterii de performanță, au fost determinate deformațiile aferente următoarelor nivele de performanță: Ocuparea Imediată (IO), Siguranța Vieții (SV), Prevenirea Colapsului (CP).

2.5 Coordonarea și organizarea activităților de cercetare, participare conferințe și workshop-uri, participare grupuri de lucru ECCS TC13 și CEN SC8, publicare articole (Act. 3.5)

Coordonarea activităților de cercetare a constat în stabilirea clară a sarcinilor fiecărui partener, schimbul de informații vizând stadiul activităților de cercetare, precum și a modului de elaborare a rapoartelor tehnice și financiare. Schimbul de informații a fost facilitat și de menținerea la zi a sistemului web de schimb de date, care permite stocarea centralizată a documentelor de lucru, a draft-urilor și rapoartelor finale, a minutelor ședințelor etc.

Pentru a urmări cercetările recente în domeniu, membrii echipei de cercetare au participat la două lucrări științifice: (1) Eighth International Workshop on Connections in Steel Structures (Connections VIII), 24-26 mai 2016, Boston, SUA și (2) The International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures – SDSS'2016, 30 mai – 01 iunie 2016, Timișoara, România.

A fost actualizată pagină web dedicată proiectului, disponibilă la adresa <http://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/imser.htm>.

Proiectul a contribuit la elaborarea viitoarelor versiuni ale Eurocode 8 "Calculul structurilor la acțiunea seismică", în special în ceea ce privește proiectarea structurilor din oțel cu contravântuiri cu flambaj împiedicat, prin participarea membrilor echipei de cercetare la întrunirile de lucru ale comisiei tehnice TC13 "proiectare seismică" a Convenției Europene de Construcții Metalice (ECCS - <http://www.steelconstruct.com/>), precum și a subcomitetului 8 "Eurocode 8: Calculul structurilor la acțiunea seismică" al Comitetului European de Standardizare (CEN/TC250/SC8 - <http://standards.cen.eu/>).

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 "Performanța 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".

2.6 Întâlniri de lucru pentru pregătirea și analiza încercărilor experimentale (Act. 3.6)

Pentru coordonarea activităților desfășurate în cadrul proiectului a fost organizată o ședință de lucru la Timișoara, la sediul UPT, precum și o întrunire la distanță. Aceasta a permis un schimb de informații eficient în ceea ce privește dezvoltarea soluției tehnice finale pentru contravântuirile cu flambaj împiedicat, prin înglobarea experienței specifice fiecărui partener (CO – cercetare, P1 – proiectare și P2 – fabricare). În plus, au avut loc mai multe întruniri bilaterale CO-P2 necesare în faza de fabricare și încercare experimentală a contravântuirilor cu flambaj împiedicat.

3 Concluzii

Raportul tehnic și științific a sintetizat activitățile desfășurate în cadrul etapei 3 / 2016 a proiectului "Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (IMSER)". Obiectivele asumate în planul de realizare au fost atinse.

Au fost proiectate speciamentele experimentale și întocmit caietul de sarcini cu prevederi privind tehnologia de execuție a contravântuirilor cu flambaj împiedicat (activitatea 3.1). În baza acestora au fost fabricate speciamentele experimentale ale BRB-urilor, precum și epruvetele pentru încercări de tracțiune, speciamente pentru studiul zonei de tranziție și elemente ale standului experimental (activitatea 3.2). Au fost efectuate încercări experimentale pe speciamente pentru studiul zonei de tranziție și pe probe de tracțiune. Încercările experimentale pe contravântuirile cu flambaj împiedicat sunt în curs de desfășurare (activitatea 3.3). Performanța speciamentelor experimentale a fost analizată în cadrul activității 3.4. Rezultatele obținute au fost diseminate prin intermediul paginii web a proiectului. Au fost organizate câteva întruniri de lucru pentru coordonarea activităților desfășurate în cadrul proiectului (activitățile 3.5 și 3.6).