

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

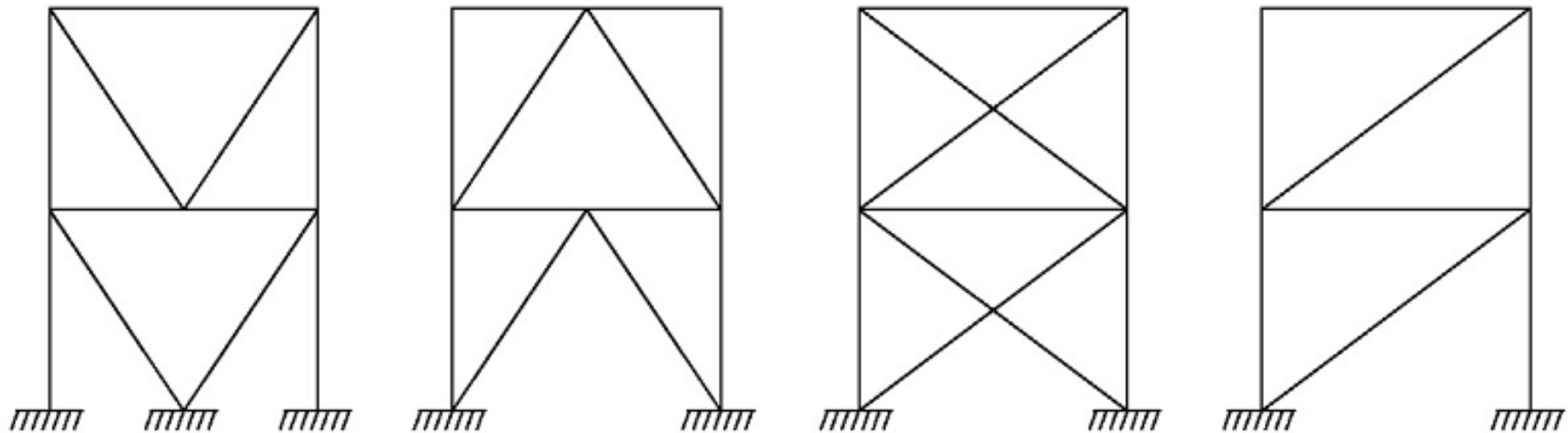
Contravântuiri cu flambaj împiedicat: principii, context normativ și prezentare proiect de cercetare

Aurel Stratan

Universitatea Politehnica Timișoara

Cadre contravântuite centric

- Oferă o rigiditate și rezistență ridicată la încărcări laterale
- Reprezintă o soluție structurală economică
- Proiectarea la acțiunea seismică:
 - Elemente disipative: contravântuiri solicitate axial
 - Elemente nedisipative: grinzi și stâlpi

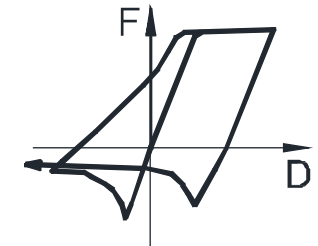


Comportarea ciclică a contravântuirilor convenționale

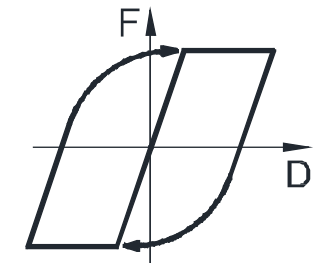
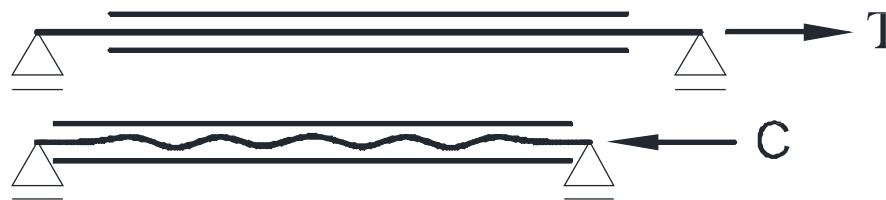


Contravântuiri cu flambaj împiedicat (BRB)

- **Contravântuire convențională**



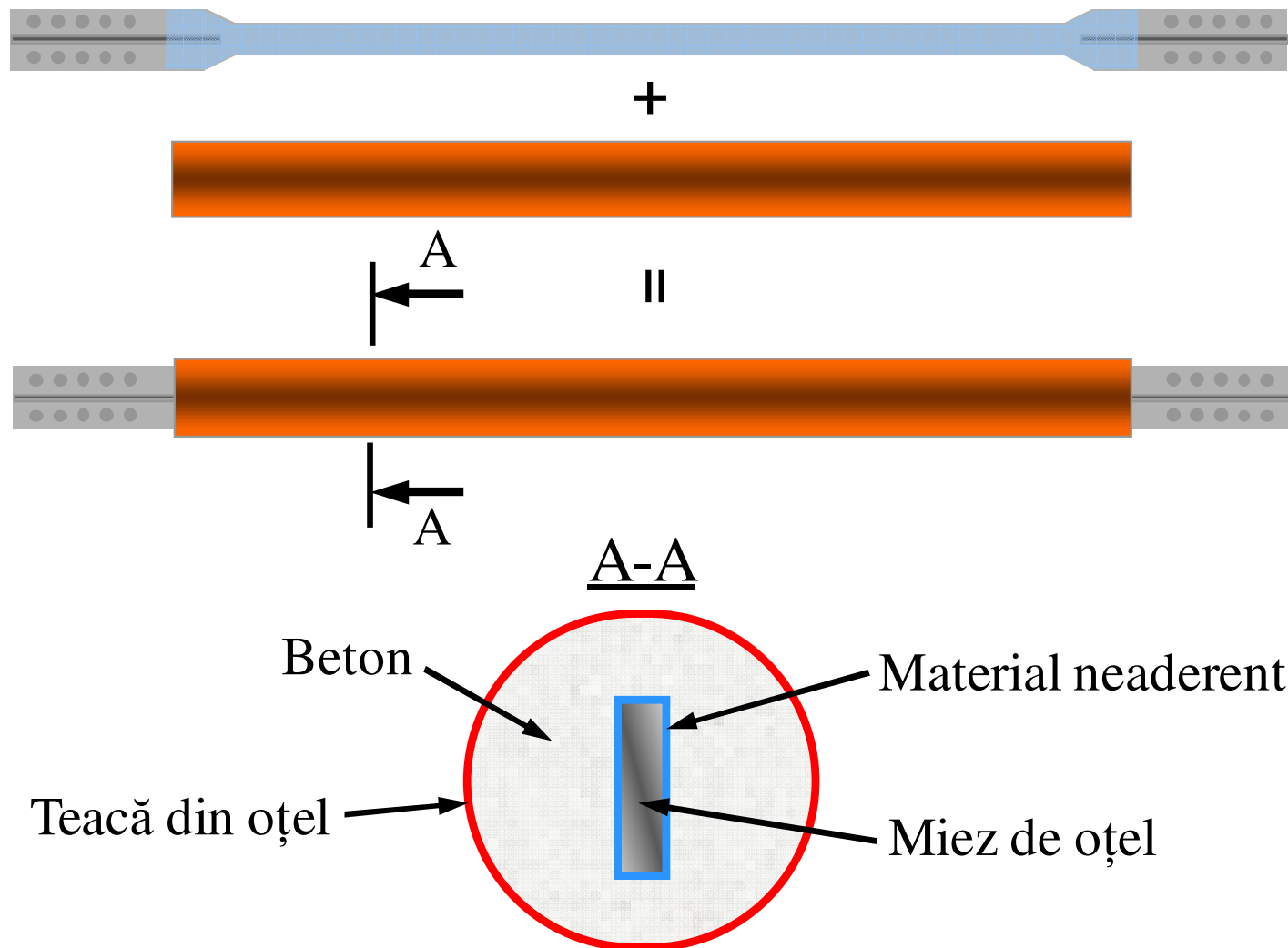
- **Contravântuire cu flambaj împiedicat**



Răspunsul histeretic al unei BRB

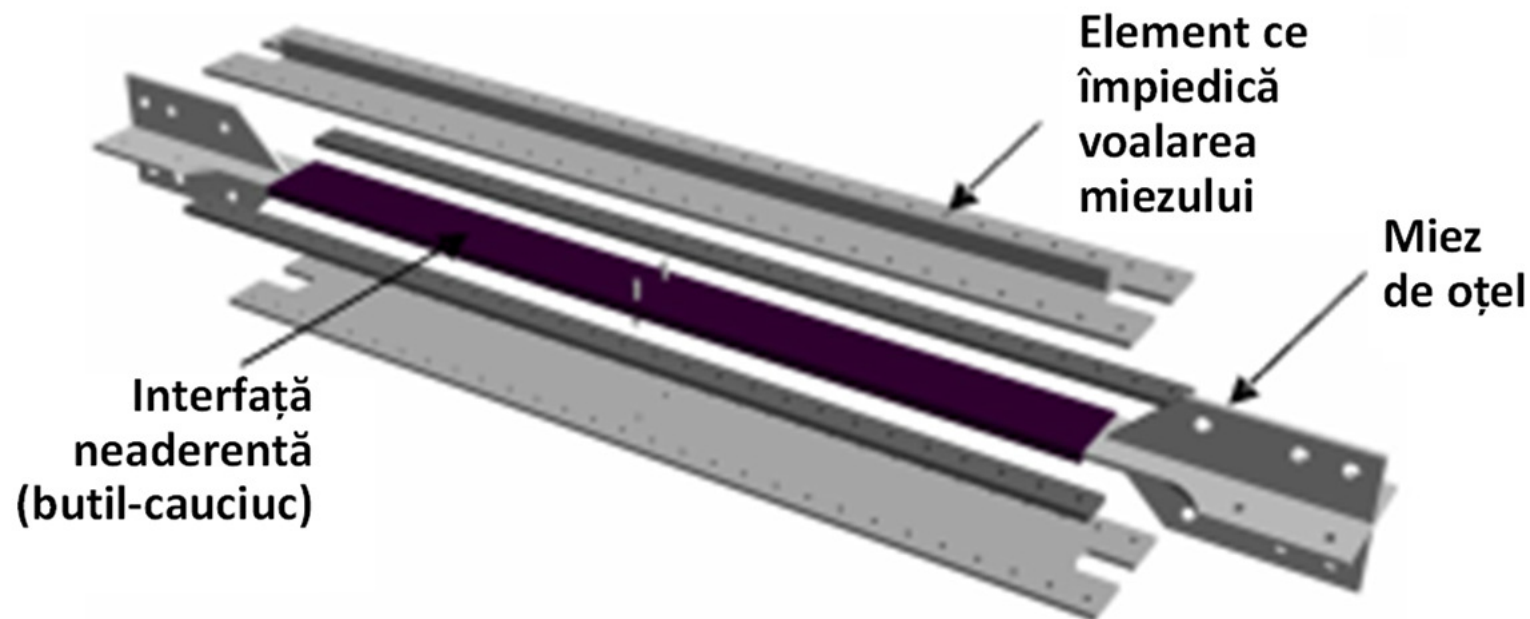
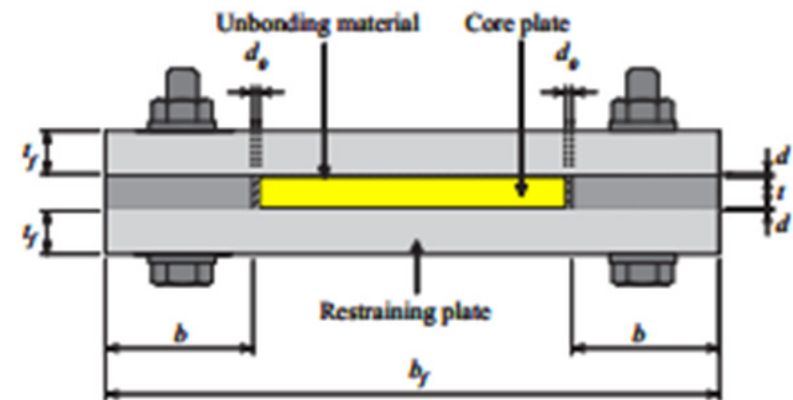


Alcătuirea BRB-urilor



Alcătuirea BRB-urilor "uscate"

- Greutate redusă
- Timp de fabricare redus
- Posibilitatea inspectării și înlocuirii miezului după cutremur
- Formă mai compactă



Aplicații: clădiri noi din oțel



Aplicații: clădiri noi din b.a.



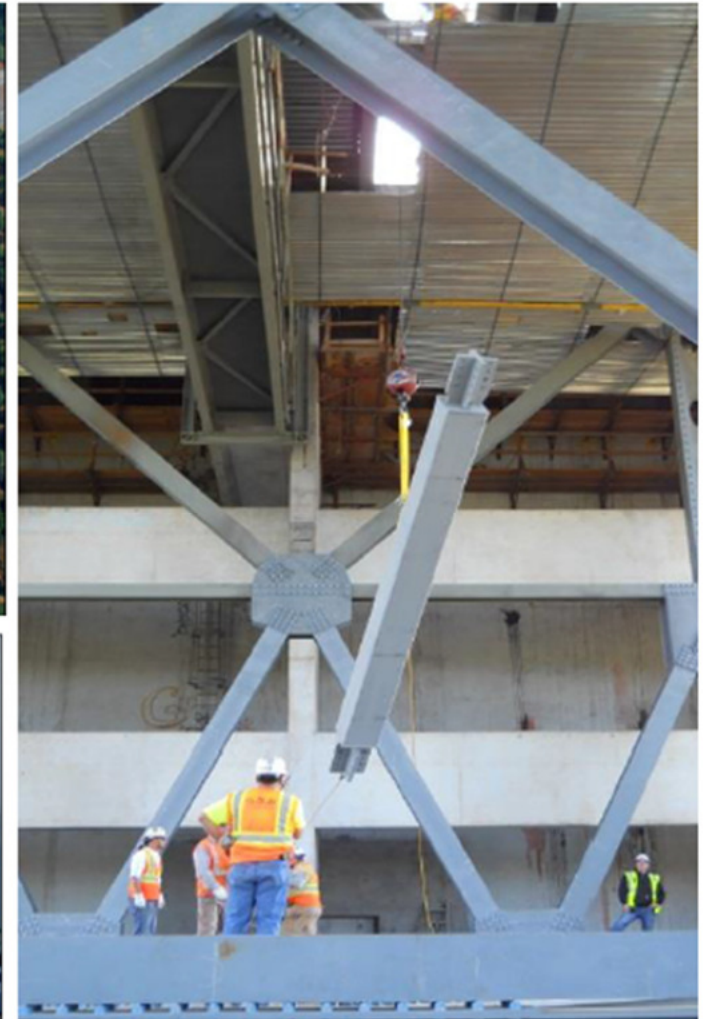
Aplicații: consolidarea clădirilor din oțel



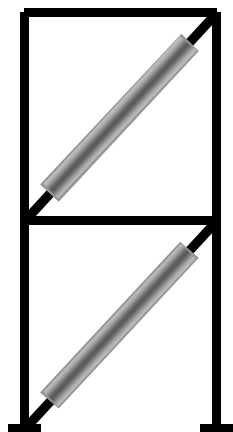
Aplicații: consolidarea clădirilor din b.a.



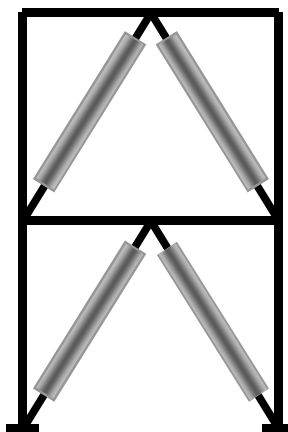
Aplicații: consolidarea podurilor



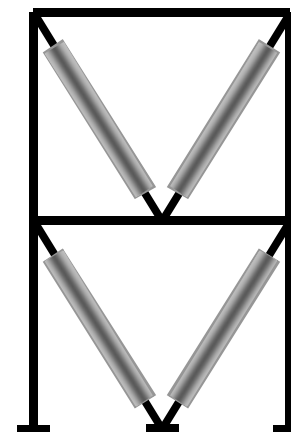
Sisteme structurale



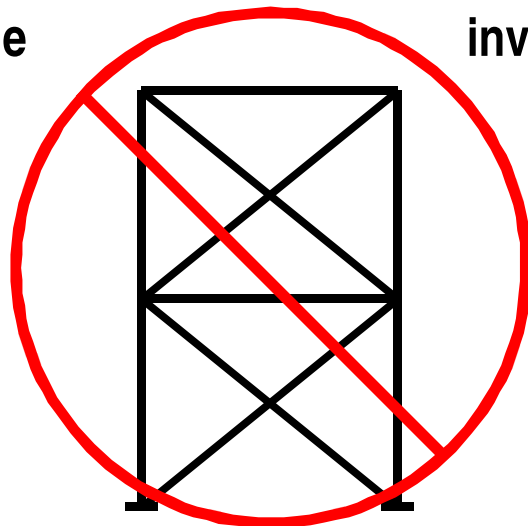
Contravântuiri
diagonale



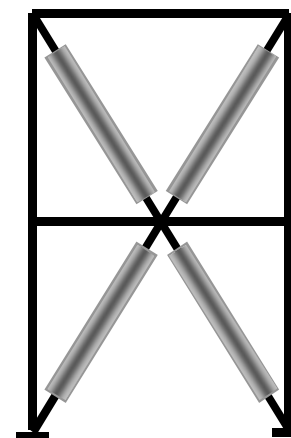
Contravântuiri în V
inversat



Contravântuiri în V



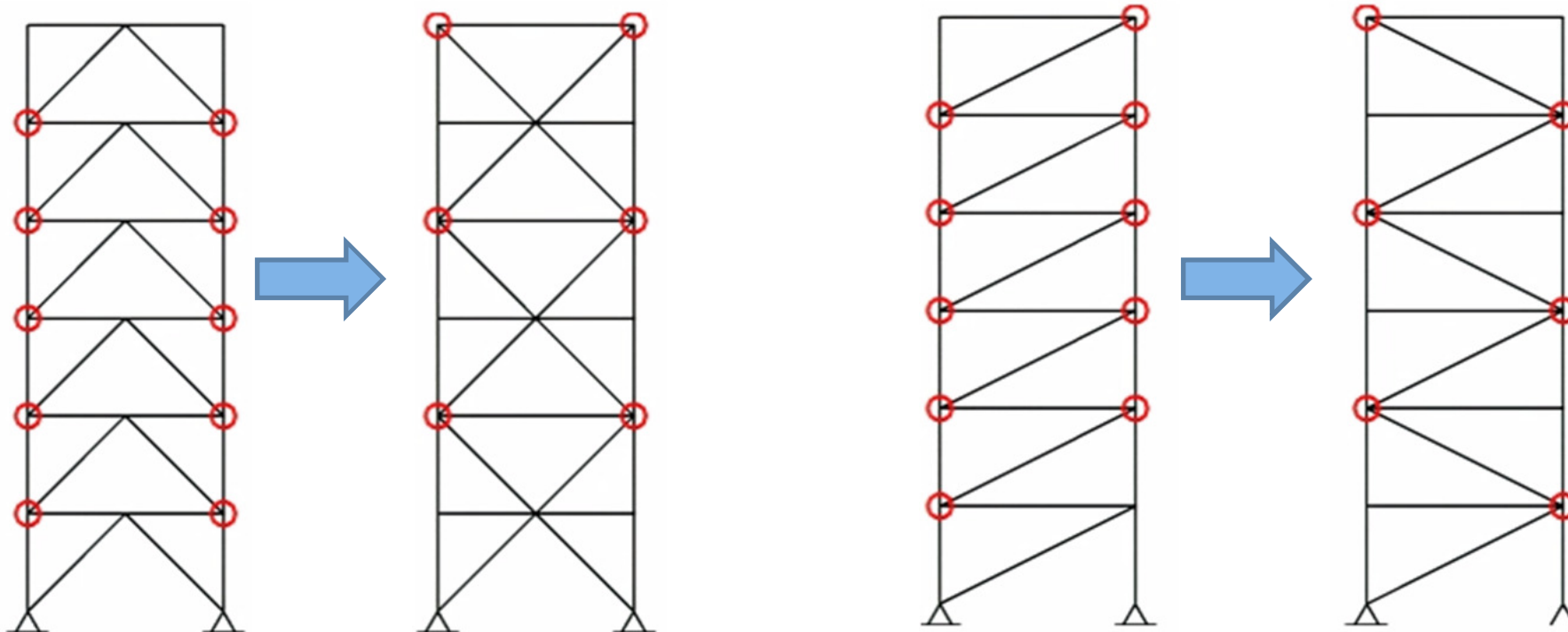
Contravântuiri în X



Contravântuiri în X pe două nivele

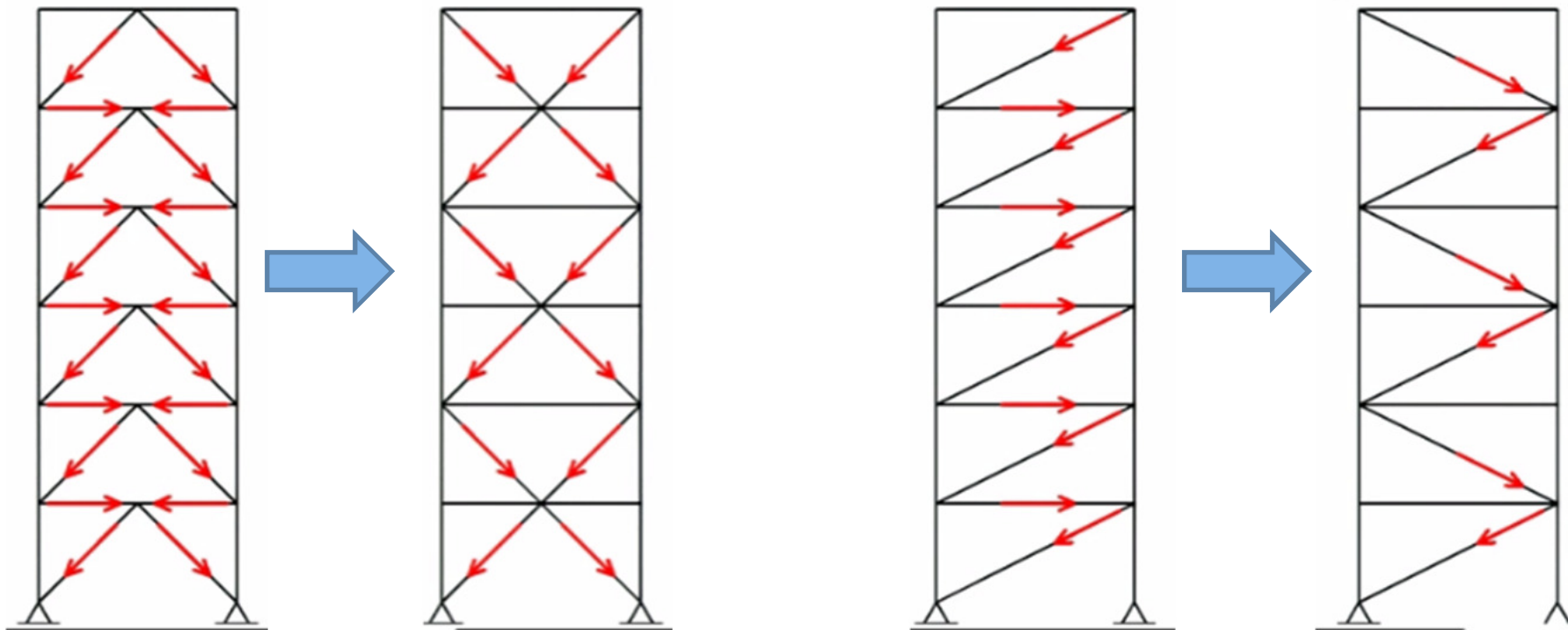
Sisteme structurale

- Configurații care duc la un număr redus de îmbinări



Sisteme structurale

- Configurații care conduc la grinzi cu secțiunea mai mică



Utilizarea în Europa

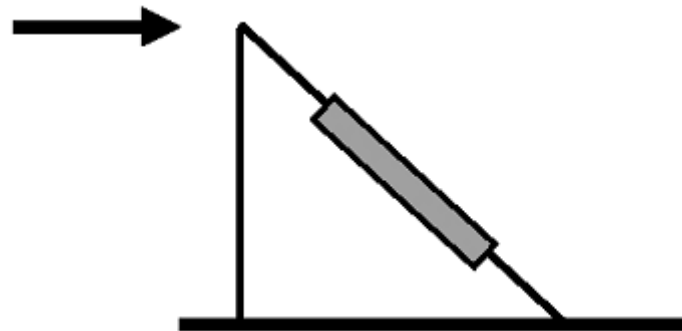
- **Contravântuirile cu flambaj împiedicat au un potențial ridicat în proiectarea anti-seismică datorită ductilității ridicate și a răspunsului histeretic stabil și simetric**
- **Cadrelle cu BRB-uri oferă:**
 - Rigiditate ridicată (deplasări laterale mici) și
 - Ductilitate ridicată (disiparea energiei seismice).
- **Utilizare redusă în Europa**
 - Relativ puțin cunoscut proiectanților,
 - Necesitatea validării experimentale a dispozitivelor,
 - Majoritatea BRB-urilor reprezintă sisteme brevetate,
 - Lipsa unor prevederi de calcul în EN 1998-1.
- **Standardul EN 15129 "Dispozitive anti-seismice"**
 - Se adresează formal BRB-urilor doar la nivel de element,
 - Conține cerințele de validare experimentală (încercări tip și încercări de control al producției).

Abordări în proiectarea cadrelor cu BRB-uri

- **Japonia:**
 - BRB-urile sunt considerate dispozitive anti-seismice histeretice
 - Structura (în cadre necontravântuite) este proiectată folosind principiul de amortizare suplimentară
- **Standardele europene actuale conduc către aceeași abordare**
 - EN 15129 clasifică BRB-urile ca "dispozitive neliniare dependente de deplasare"
 - EN 1998 nu se adresează acestui sistem structural
- **Abordarea din codurile nord-americane (ANSI/AISC 341-10) și românești (P100-1/2013):**
 - Proiectare convențională considerând cadrele cu BRB-uri un nou sistem structural
 - Similar cadrelor contravântuite centric clasice, dar ținând cont de caracteristicile dispozitivelor BRB

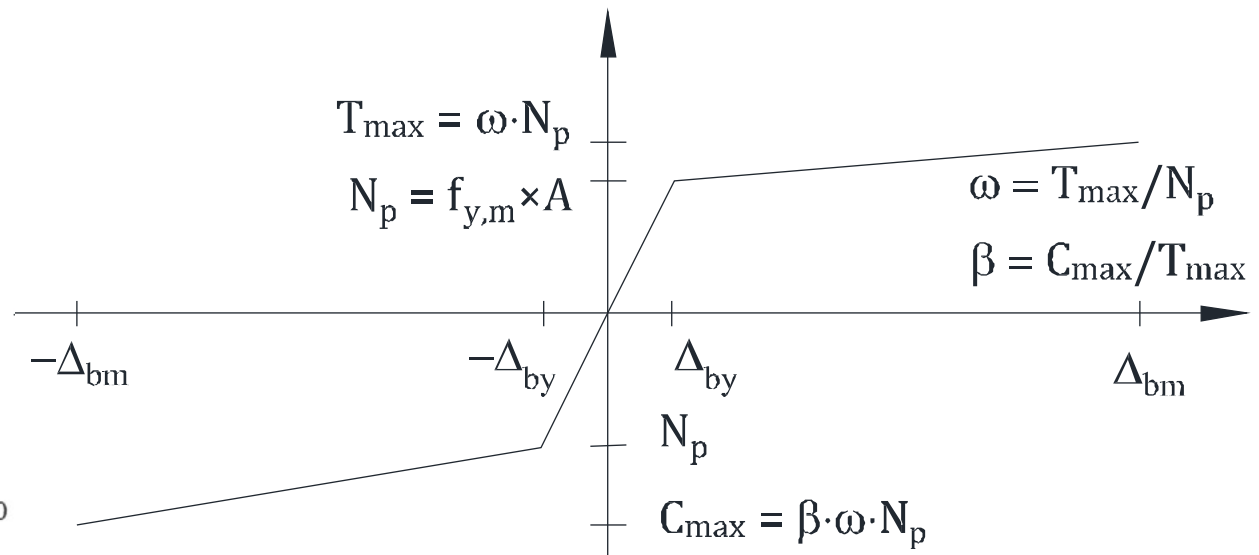
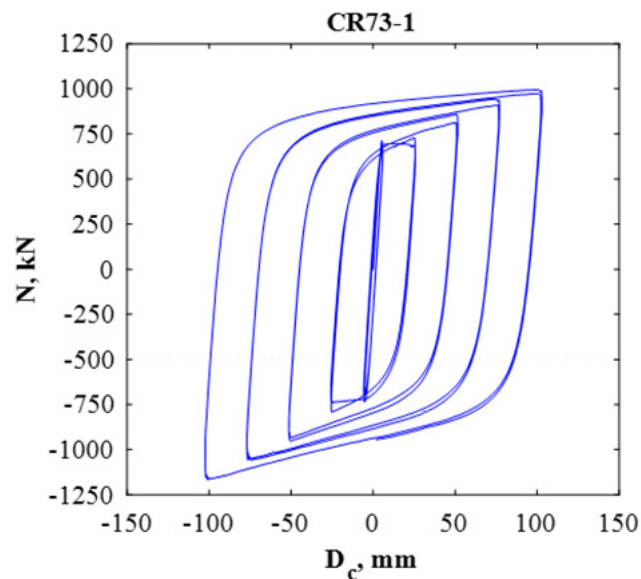
Validarea experimentală

- **BRB-urile trebuie să fie capabile să dezvolte deformațiile corespunzătoare**
 - dublului deplasării relative de nivel de calcul la SLU, dar
 - nu mai puțin de 0.02 din înălțimea de etaj.
- **Conformitatea contravântuirilor se bazează pe efectuarea de încercări experimentale realizate pe baza prevederilor din SR EN 15129:**
 - încercări tip inițiale (minim 1) și
 - încercări de control a producției în fabrică (2% din lot, min 1).
- **Sunt acceptate**
 - încercări efectuate pentru proiectul respectiv cât și
 - încercări prezentate în literatura de specialitate sau
 - încercări pentru alte proiecte similare.



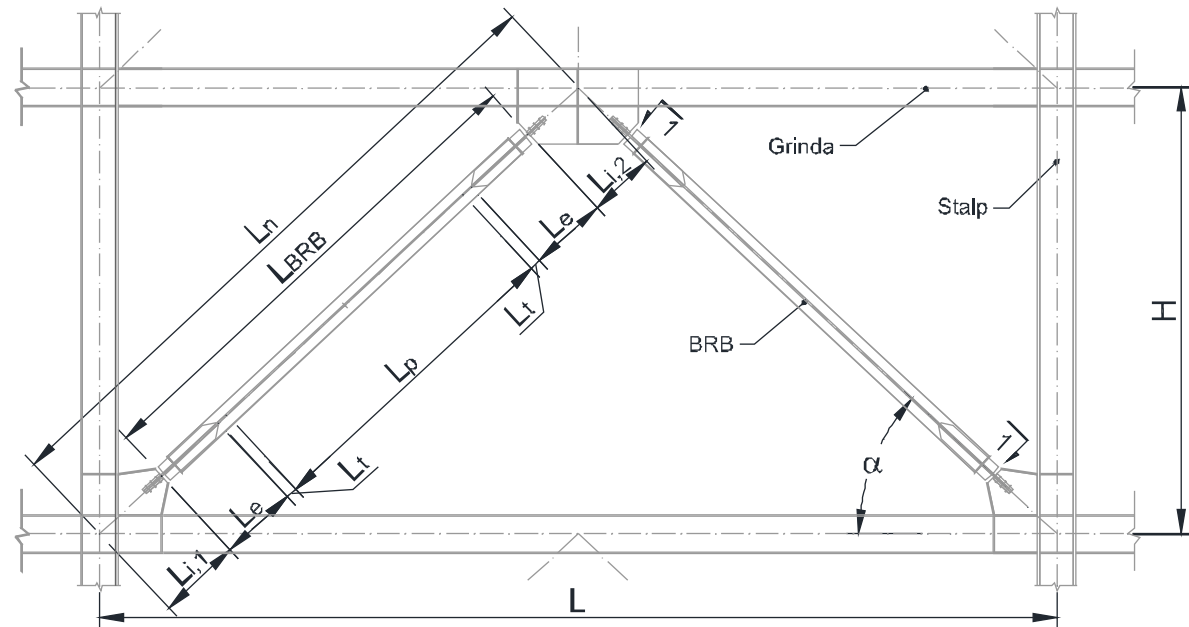
Caracteristicile BRB-urilor

- Capacitatea corectată la întindere $T_{max} \Leftrightarrow$ factorul ω (datorat consolidării)
- Capacitatea corectată la compresiune $C_{max} \Leftrightarrow$ factorul β (de corecție a capacității la compresiune)
- BRB $\Leftrightarrow 1 \leq \beta \leq 1,3$

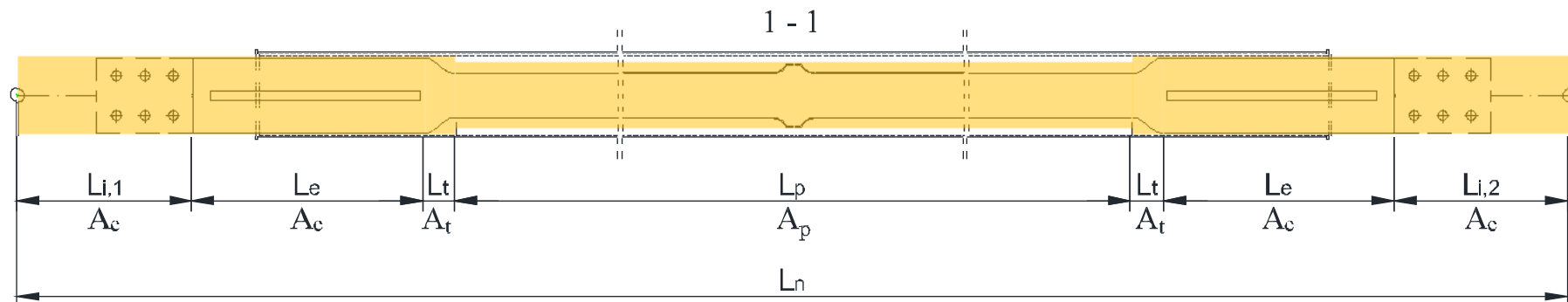


Modelarea BRB-urilor pentru calcul structural elastic

- Zona plastică
- Zona de tranziție
- Zona de elastică
- Zona de îmbinare



$$K_{ef} = \frac{1}{\sum \frac{1}{K_i} + \sum \frac{1}{K_e} + \sum \frac{1}{K_t} + \frac{1}{K_p}}$$



Proiectarea cadrelor cu BRB-uri

- Elementele disipative (BRB-urile) sunt dimensionate la eforturile rezultate din analiza elastică a structurii la acțiunea seismică de calcul (redușă cu factorul q)
- Componentele nedisipative (grinzi, stâlpi, îmbinări) sunt dimensionate folosind principiul de proiectare pe bază de capacitate la eforturile corespunzătoare capacității la întindere ($T_{\max}$) și compresiune ($C_{\max}$) a BRB-ului

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + \Omega_T N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + \Omega_T M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + \Omega_T V_{Ed,E}$$

$$\Omega_T = \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^N$$

Îmbinările BRB-urilor

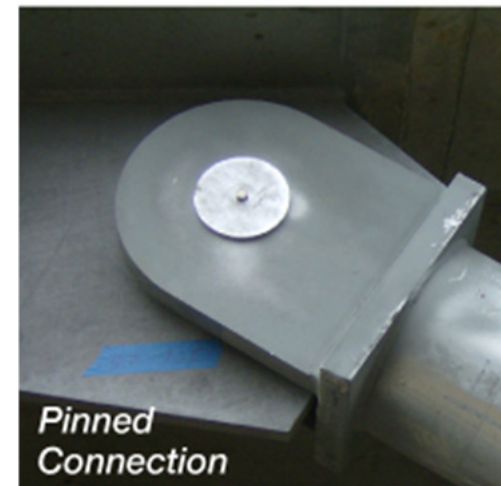
- Îmbinări sudate

$$R_d \geq 1.1 \cdot T_{max}$$

- Îmbinări cu șuruburi

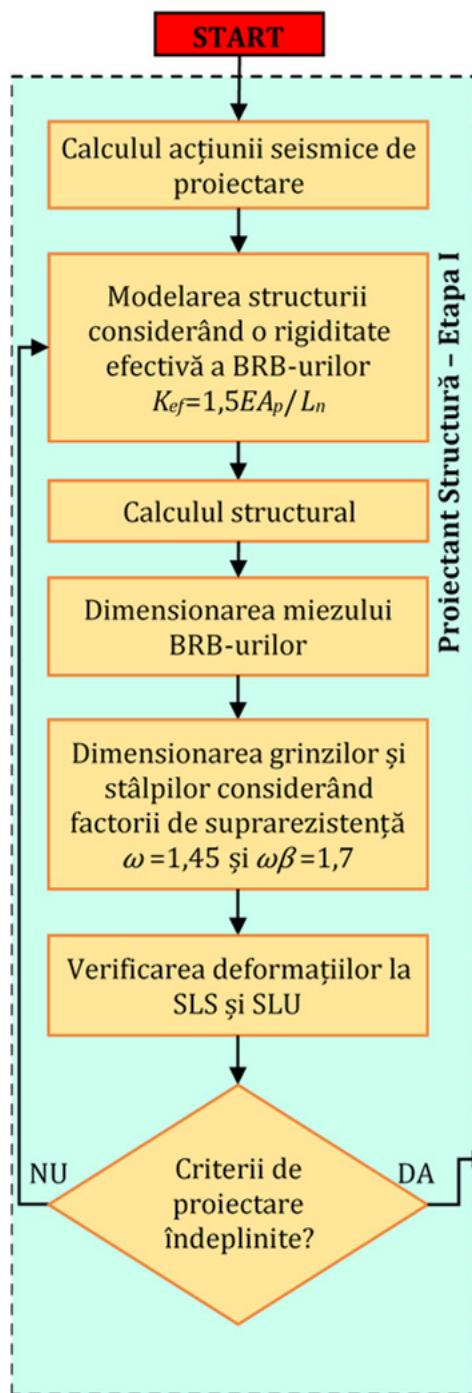
$$R_d \geq 1.1 \cdot C_{max}$$

- Îmbinări cu bolt



Proiectarea cadrelor cu BRB-uri

- Proiectantul unei structuri cu BRB-uri are nevoie de următoarele caracteristici ale dispozitivelor utilizate:
 - Rigiditatea efectivă (K_{ef})
 - "Capacitatea corectată" la întindere ($T_{max}=N_p * \omega$)
 - "Capacitatea corectată" la compresiune ($C_{max}=N_p * \omega * \beta$)
- Atât rigiditatea efectivă K_{ef} , dar în special factorii de suprarezistență ω și β depind de detaliile constructive ale BRB-ului și pot fi obținute pe baza proiectării de detaliu a dispozitivelor BRB, dar și a încercării experimentale a acestora
- Este nevoie de o interacțiune dintre inginerul proiectant de structură și producătorul dispozitivelor BRB



Proiectul de cercetare IMSER
"Implementarea în practica de proiectare
anti-seismică din România a
contravântuirilor cu flambaj împiedicat"

Derulat prin programul Parteneriate in domenii prioritare
– PN II, cu sprijinul MEN – UEFISCDI, proiect nr. 99/2014

*uefisc***di** UNITATEA EXECUTIVA
PENTRU FINANTAREA
INVATAMANTULUI
SUPERIOR, A CERCETARII
DEZVOLTARII SI INOVARII

Context

- **Contravântuirile cu flambaj împiedicat (BRB): potențial ridicat în domeniul proiectării anti-seismice a structurilor datorită ductilității ridicate și a răspunsului ciclic simetric**
- **Prescripții de proiectare pentru cadre din oțel cu BRB în P100-1/2013.**
- **Cadrele cu BRB-uri**
 - rigiditatea ridicată (pentru reducerea deplasărilor relative de nivel la cutremure moderate) și
 - ductilitate (pentru capacitatea de disipare de energie în cazul unor cutremure severe).
- **Utilizare redusă în Europa**
 - lipsa prevederilor de proiectare din EN 1998-1,
 - necunoașterea sistemului de către inginerii proiectanți practicieni,
 - nevoia de validare experimentală a sistemului și
 - caracterul de dispozitive brevetate.

Objective

- **Crearea premizelor pentru implementarea rapidă în practică a cadrelor din oțel cu contravântuiri cu flambaj împiedicat (BRB).**
 - Dezvoltarea și precalificarea experimentală a unui set de BRB-uri uzuale în condițiile seismice din România
 - Transferul de "know-how" despre proiectarea și fabricarea dispozitivelor BRB către partenerul industrial
 - Elaborarea unor recomandări de proiectare pentru contravântuiri cu flambaj împiedicat (la nivel de element) și pentru structuri din oțel cu BRB-uri (la nivel de sistem)



Parteneri

- **UPT: Universitatea Politehnica Timișoara**



- **PA: SC Popp & Asociații SRL (București)**

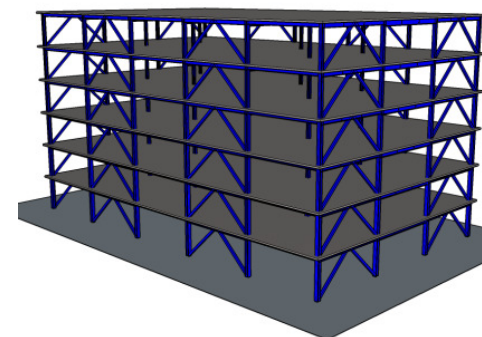
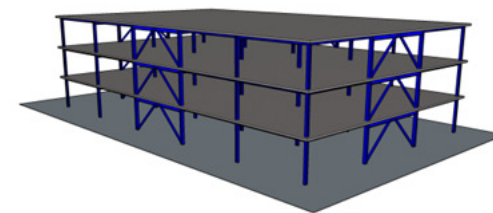


- **HMS: SC Hydromatic Sistem SRL (Timișoara)**



Etapa 1 (2014): Proiectarea cadrelor model cu BRB și sinteza informațiilor existente.

- Selectarea unor configurații tipice de clădiri cu înălțimea mică și medie
- Proiectarea structurilor model
- Sinteza informației existente despre performanța și proiectarea dispozitivelor BRB



Înălțime	Amplasament	MRF	CBF	BRBF	D-BRBF
Joasă (P+2)	$T_c=0,7$ s (TM)	ML07	CL07	BL07	DBL07
	$T_c=1,6$ s (B)	ML16	CL16	BL16	DBL16
Medie (P+5)	$T_c=0,7$ s (TM)	MM07	CM07	BM07	DBM07
	$T_c=1,6$ s (B)	MM16	CM16	BM16	DBM16

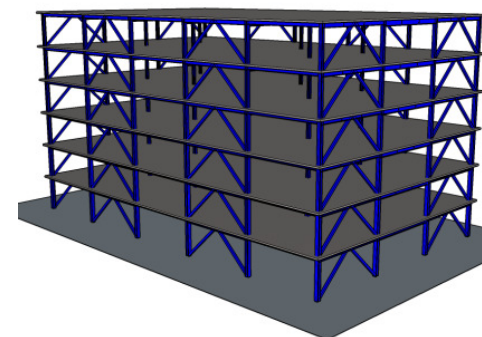
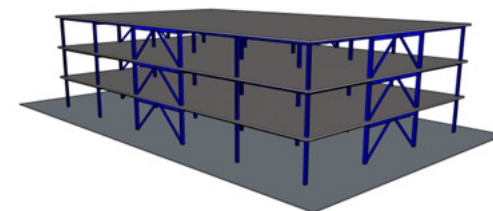
Etapa 1 (2014): Proiectarea cadrelor model cu BRB și sinteza informațiilor existente.

- Selectarea unor capacități tipice ale BRB

- Necesare: $N_p = 136 \dots 839 \text{ [kN]}$

- Selectate: $N_p = 300 \text{ \& } 700 \text{ [kN]}$

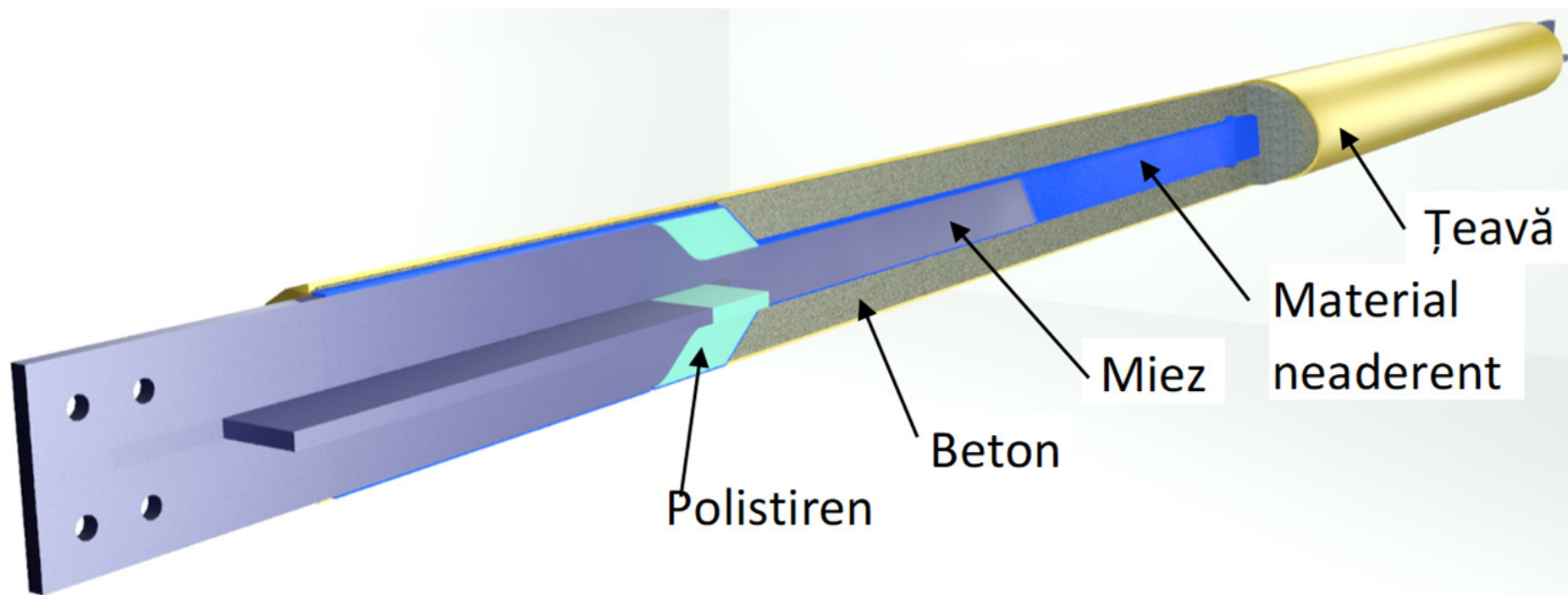
- Acoperită: $N_p = 150 \dots 840 \text{ [kN]}$
 $= (0,5 \dots 1,2) N_{p,exp}$



Înălțime	Amplasament	MRF	CBF	BRBF	D-BRBF
Joasă (P+2)	$T_c=0,7 \text{ s (TM)}$	ML07	CL07	BL07	DBL07
	$T_c=1,6 \text{ s (B)}$	ML16	CL16	BL16	DBL16
Medie (P+5)	$T_c=0,7 \text{ s (TM)}$	MM07	CM07	BM07	DBM07
	$T_c=1,6 \text{ s (B)}$	MM16	CM16	BM16	DBM16

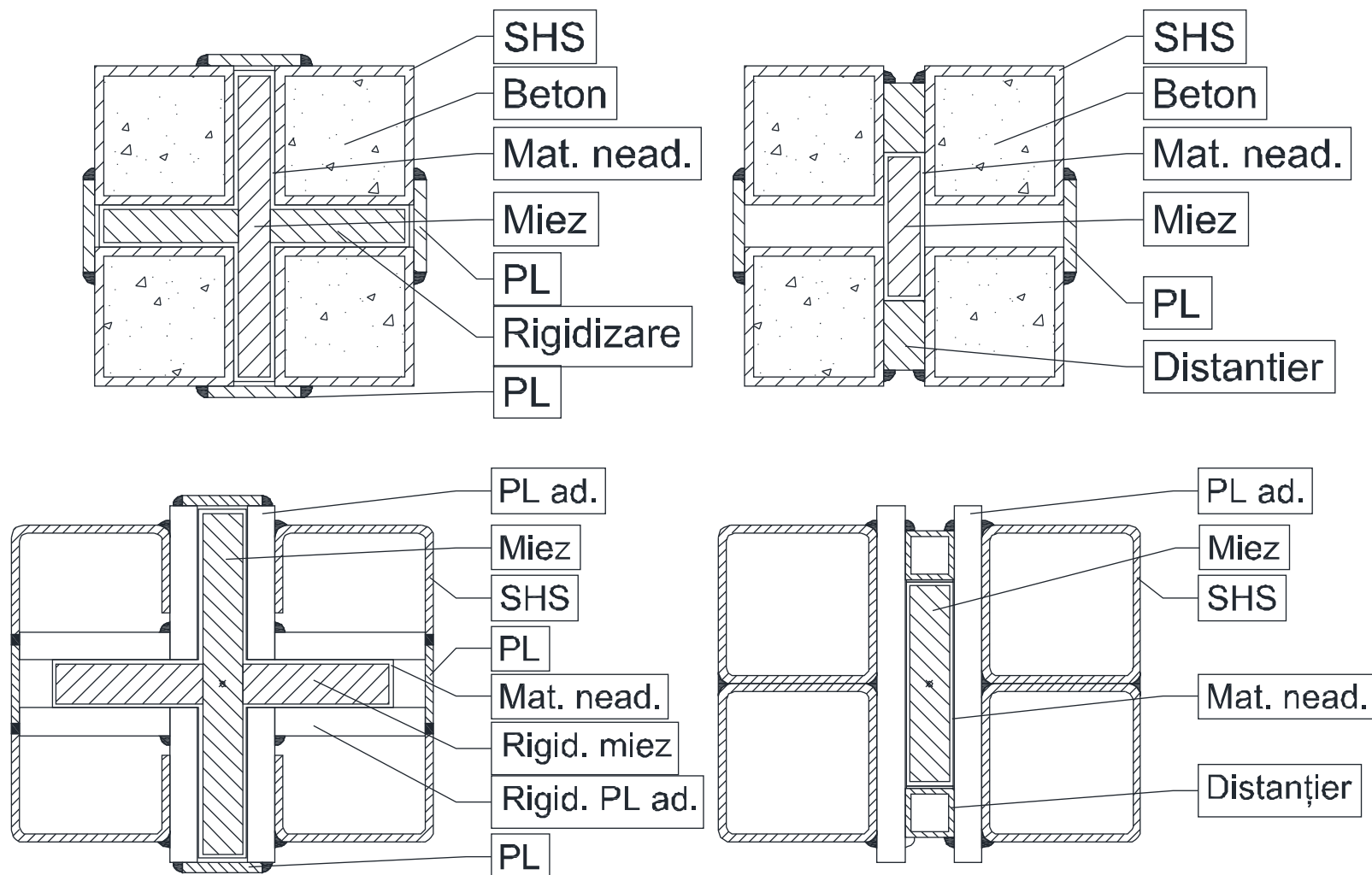
Etapa 2 (2015): Proiectarea și evaluarea numerică a performanței dispozitive BRB.

- Dezvoltarea și proiectarea dispozitivelor BRB "convenționale"



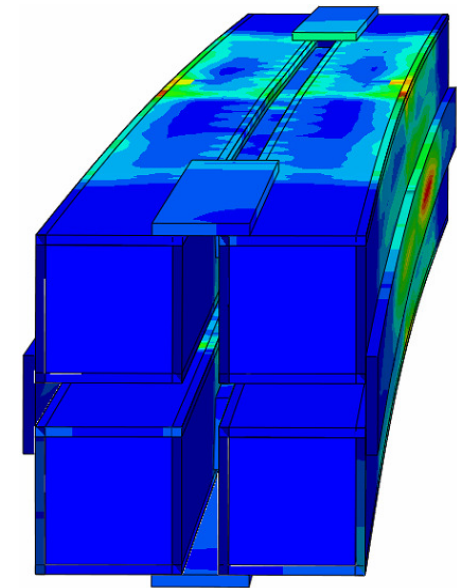
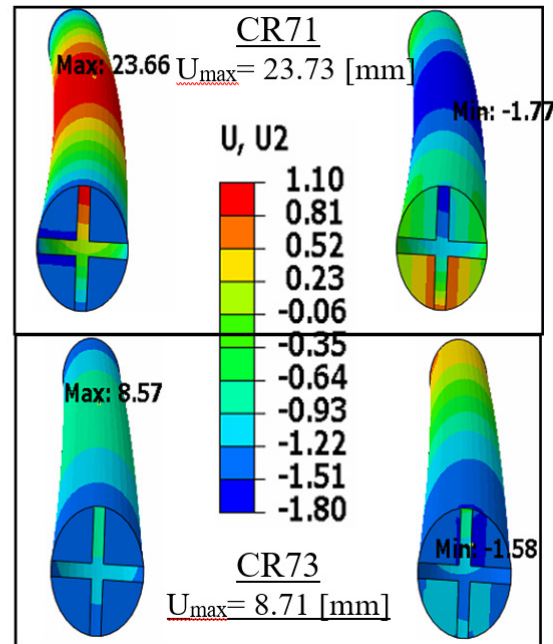
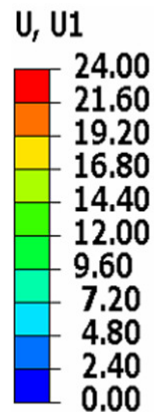
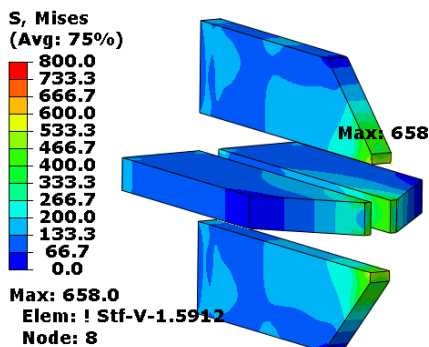
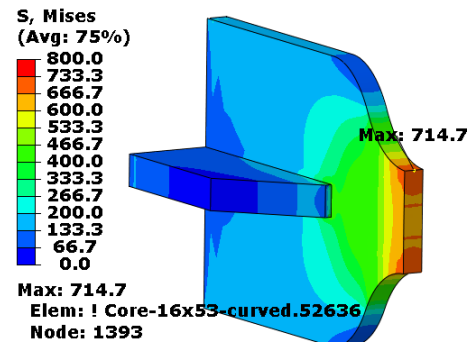
Etapa 2 (2015): Proiectarea și evaluarea numerică a performanței dispozitive BRB "uscate".

- Dezvoltarea și proiectarea dispozitivelor BRB "uscate"



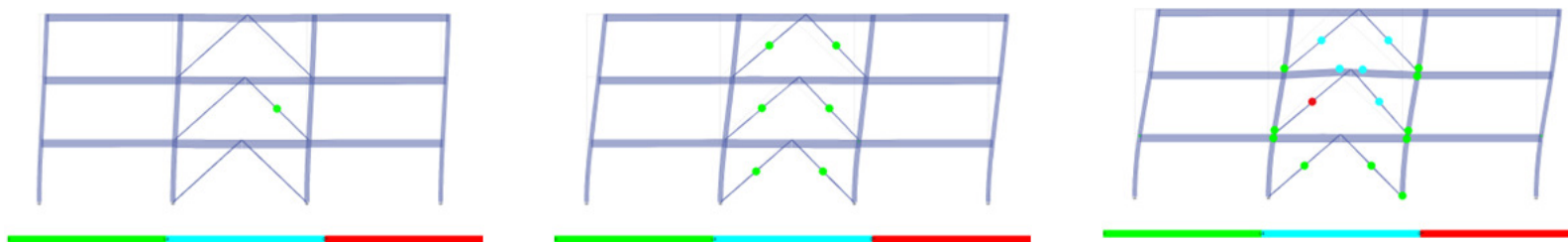
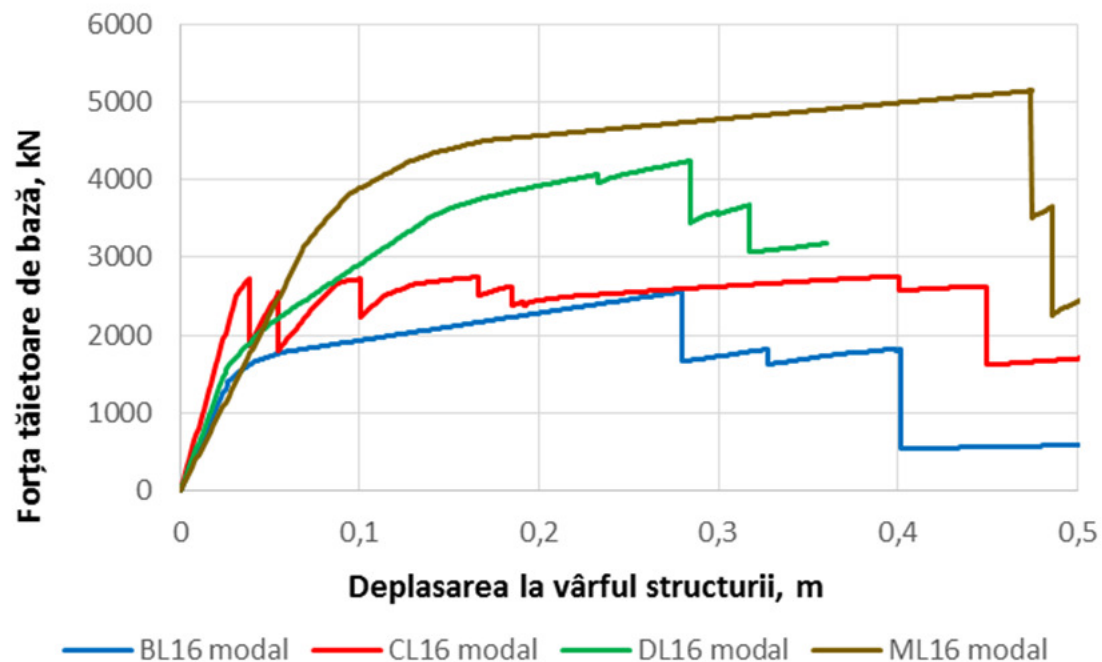
Etapa 2 (2015): Proiectarea și evaluarea numerică a performanței dispozitive BRB.

■ Simulări numerice pe dispozitive BRB



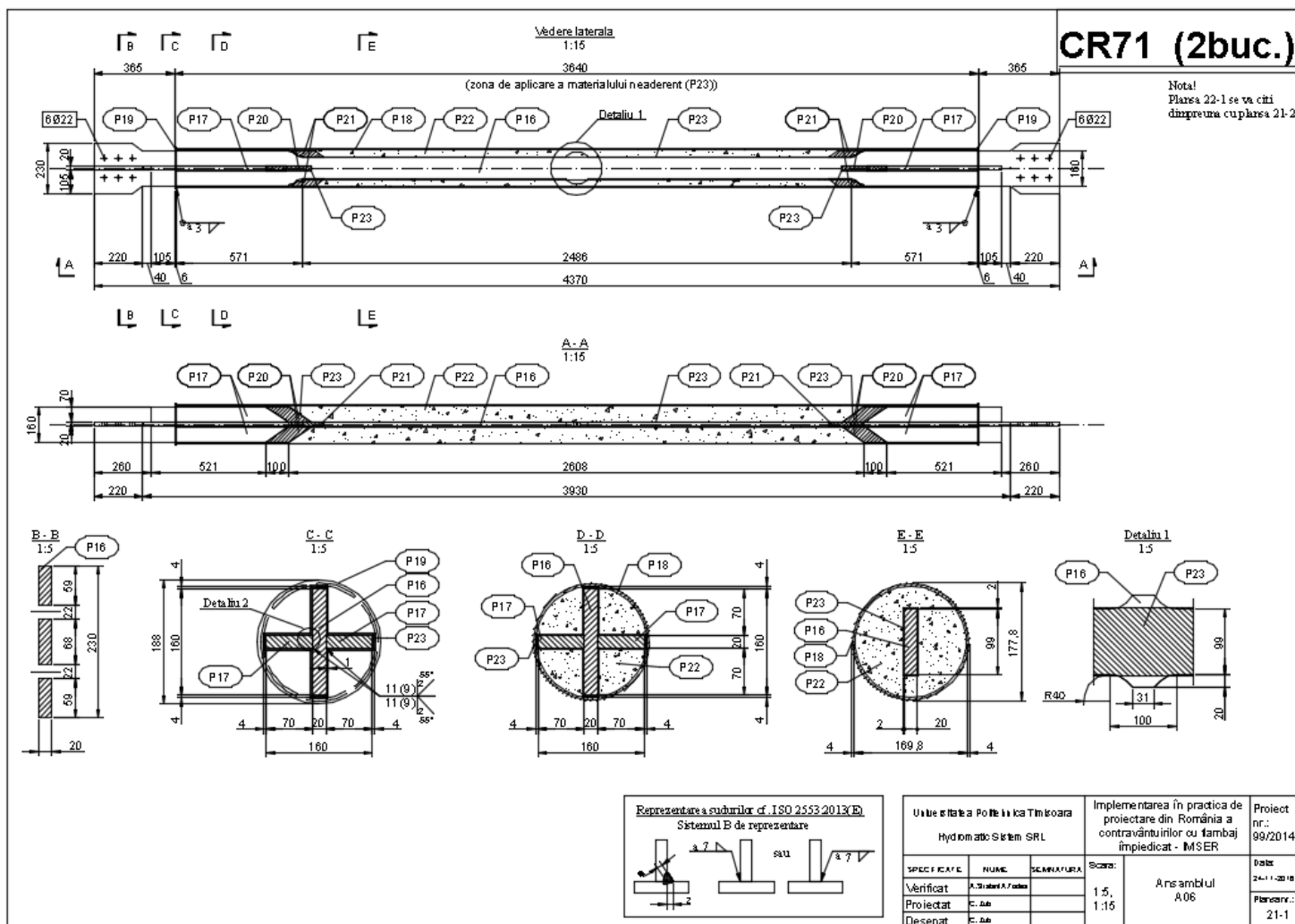
Etapa 2 (2015): Proiectarea și evaluarea numerică a performanței dispozitive BRB.

- Evaluarea performanței seismice a cadrelor din oțel cu BRB



Etapa 3 (2016): Încercări experimentale pe dispozitive BRB.

- Proiectare finală, desene și caiet de sarcini pentru speci­menele experimentale



Etapa 3 (2016): Încercări experimentale pe dispozitive BRB.

- Fabricarea specimenelor experimentale și a standului de încercare



Etapa 3 (2016): Încercări experimentale pe dispozitive BRB.

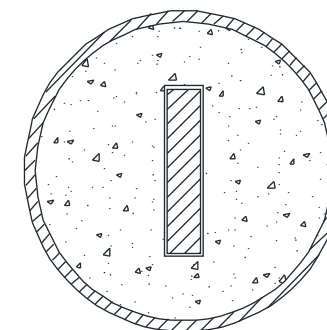
- Încercarea experimentală a dispozitivelor BRB



Etapa 3 (2016): Încercări experimentale pe dispozitive BRB.

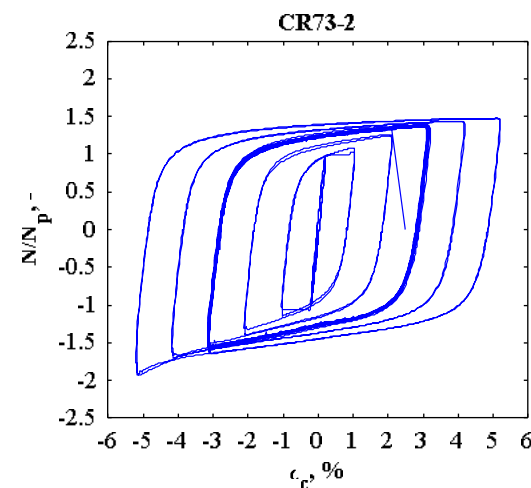
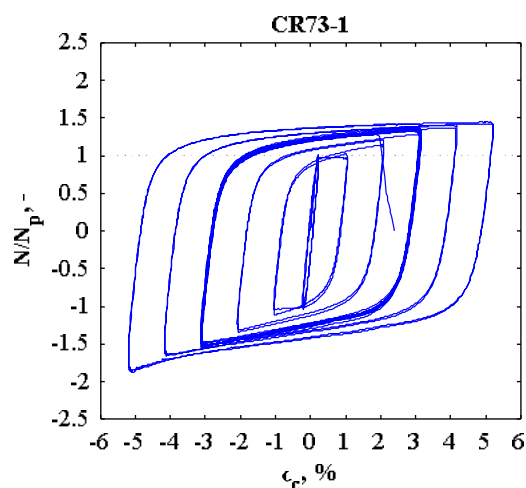
■ Evaluarea criteriilor de performanță a dispozitivelor BRB

CR73



	ω	β	ϵ_c [%]	CID/Δ_{by}	Observații:
CR73-1	1,40	1,17	4,16	≥ 200	comportare ciclică stabilă
CR73-2	1,44	1,18	4,17	≥ 200	comportare ciclică stabilă

	ω	β	ϵ_c [%]	CID/Δ_{by}	Observații:
CR73-1	1,45	1,30	5,19	≥ 200	cedare @ $1,5\Delta_{bm}\cdot 14+$ (25,25 cicluri)
CR73-2	1,48	1,31	5,20	≥ 200	cedare @ $1,5\Delta_{bm}\cdot 14+$ (25,75 cicluri)



Etapa 4 (2017): Elaborarea ghidurilor de proiectare.

- Dispozitive BRB precalificate și ghid de proiectare
- Ghid de proiectare și exemple de calcul pentru cadre din oțel cu BRB
- Evaluarea eficienței tehnice și economice a cadrelor din oțel cu BRB

