



Comisia Europeană
Programul de Cercetare al Fondului de Cercetare pentru Cărbune și Oțel

INNOSEIS

Valorizarea dispozitivelor anti-seismice inovative

PACHET DE LUCRU 3 – DELIVRABIL 3.2

Volum cu instrucțiuni de proiectare pre-normative pentru dispozitive inovative

Coordonator:

Universitatea Națională Tehnică din Atena - NTUA, Grecia

Beneficiari:

Universitatea Politehnică Timișoara - UPT, Romania

Politehnica din Milano - POLIMI, Italia

Universitatea Federico II din Napoli - UNINA, Italia

Universitatea din Pisa - UNIPI, Italia

Universitatea Tehnică Rheinisch-Westfaelische din Aachen - RWTH, Germania

Institutul Superior Tehnic - IST, Portugalia

Universitatea de Arhitectură, Inginerie Civilă și Geodezie - UACEG, Bulgaria

Universitatea Hasselt - UHasselt, Belgia

Maurer Sohne Engineering GmbH & CO KG - MSE, Germania

Convenția Europeană de Construcții Metalice ASBL - ECCS, Belgia

Acord de Finanțare Numărul: 709434

17/02/2017

Disclaimer

This document provides recommended criteria for the design of innovative steel lateral-load-resisting systems to resist the effects of earthquakes. These recommendations were developed by practicing and research engineers, based on professional judgment and experience, and by a program of laboratory, field and analytical research. Still, this is not a consensus document nor does it necessarily reflect the views and policies of the Research Fund for Coal and Steel, or the European Commission. It is primarily intended as a resource document for the development of future design standards and building code provisions. No warranty is offered, with regard to the recommendations contained herein. No legal liability or responsibility is assumed for the accuracy, completeness, or usefulness of any of the information, products or processes included in this publication. Users of information contained in this report assume all liability arising from its use.

AUTORI

UNIVERSITATEA NATIONALĂ TEHNICĂ DIN ATENA (NTUA)

Institutul Structurilor din Oțel

EL-15780 Atena, Grecia

Capitolele 2, 5

Autori: Ioannis Vayas, Pavlos Thanopoulos, Panagiotis Tsarpalis, Danai Dimakogianni

UNIVERSITATEA HASSELT

Grupul de Cercetare a Ingineriei Construcțiilor

Campus Diepenbeek, clădirea Agoralaan H, BE3590 Diepenbeek

Capitolul 3

Autori: Jose Henriques, Herve Degee

UNIVERSITATEA TEHNICĂ RHEINISCH-WESTFAELISCHE DIN AACHEN
(RWTH)

Institutul Construcțiilor din Oțel

52074 Aachen, Germania

Capitolul 4

Autori: Benno Hoffmeister, Marius Pinkawa

POLITEHNICA DIN MILAN (POLIMI)

Departamentul de Arhitectură, Mediu Construit și Inginerie Civilă

Piața Leonardo da Vinci, 32, 20133 Milan, Italia

Capitolul 6

Autori: Carlo Andrea Castiglioni, Amin Alavi, Giovanni Brambilla

INSTITUTUL SUPERIOR TEHNIC (IST)

Departamentul de Inginerie Civilă, Arhitectură și Georesurse

Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisabona, Portugalia

Capitolul 6

Autori: Luís Calado, Jorge M. Proença, João Sio

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMISOARA (UPT)

Departamentul de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor

Strada Ioan Curea, nr.1, Timișoara, Romania

Capitolele 7, 8

Autorii capitolului 7: Adriana Chesoan, Aurel Stratan, Dan Dubina

Autorii capitolului 8: Calin Neagu, Florea Dinu, Dan Dubina

UNIVERSITATEA DE ARHITECTURĂ, INGINERIE CIVILĂ ȘI GEODEZICĂ
(UACEG)

Departamentul de Structuri din Oțel și Lemn

1 Hr. Smirnenski blvd. 1046 Sofia, Bulgaria

Capitolul 9

Autori: Tzvetan Georgiev, Nikolaj Rangelov, Lora Raycheva, Stanislav Raykov

CUPRINS

AUTORI.....	II
CUPRINS.....	IV
1 INTRODUCERE	1
2 ÎMBINĂRI CU BOLȚURI INERD.....	1
2.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE	1
2.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE.....	1
2.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.3, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTE DISIPATIVE LA COMPRESIUNE SAU ÎNCOVOIERE.....	1
2.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.5, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI ÎN ZONE DISIPATIVE.....	2
2.5 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.7 REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CONTRAVÂNTUITE CENTRIC	2
3 ÎMBINĂRI U INERD	7
3.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE	7
3.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE.....	8
3.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULUI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU ÎMBINĂRI U	8
4 GRINZI DE LEGĂTURĂ FUSEIS.....	11
4.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE	11
4.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE....	12
4.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.3, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI ÎN ZONE DISIPATIVE.....	12
4.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU GRINZI DE LEGĂTURĂ FUSEIS	13
5 BARE CU BOLȚURI FUSEIS	18
5.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI DE STRUCTURI	18
5.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, FACTORI DE COMPORTARE.....	19
5.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.3, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTE DISIPATIVE LA COMPRESIUNE SAU ÎNCOVOIERE.....	19
5.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU BOLȚURI FUSEIS	20
6 ÎMBINĂRI DE CONTINUITATE CU ȘURUBURI ȘI SUDATE FUSEIS.....	27
6.1 PREVEDERI DE PROIECTARE DE INCLUS ÎN CAPITOLUL 7 AL EN1998-1-1	27
6.2 PRINCIPII: PROCEDURA DE PROIECTARE DE LA BAZA RECOMANDĂRIILOR DE INCLUS ÎN EN1998-1-1	30
7 BARE DISIPATIVE DEMONTABILE	34

7.1	PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.3.1 TIPURI DE STRUCTURI	34
7.2	PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.3.2 FACTORI DE COMPORTARE	34
7.3	PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.8.1 CRITERII DE PROIECTARE	34
7.4	PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.8.4 ÎMBINĂRILE LEGĂTURILOR SEISMICE.....	34
7.5	PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.10.2 CADRE SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE COMBinate CU CONTRAVÂNTUIRI CENTRICE	36
7.6	PREVEDERI ADIȚIONALE LA CAPITOLUL 6 REGULI SPECIFICE PENTRU CLĂDIRI DE OȚEL	37
8	PANOURI DE FORFECARE DEMONTABILE	41
8.1	PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE	41
8.2	PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE....	42
8.3	PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.10, REGULI DE PROIECTARE PENTRU STRUCTURI DE OȚEL CU NUCLEE SAU PEREȚI DIN BETON ȘI PENTRU CADRE SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE, COMBinate CU CONTRAVÂNTUIRI CENTRICE SAU PANOURI ÎNRĂMATE.....	42
8.4	PREVEDERI ADIȚIONALE LA CAPITOLUL 6 REGULI SPECIFICE PENTRU CLĂDIRI DE OȚEL	42
9	CADRE CU CONTRAVÂNTUIRI MODIFICATE (CBF-MB).....	49
9.1	PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI DE STRUCTURI	49
9.2	PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, FACTORI DE COMPORTARE	50
9.3	PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU CONTRAVÂNTUIRI MODIFICATE (CBF-MB)	50

1 INTRODUCERE

Acest volum prezintă instrucțiuni de proiectare relevante pentru 9 dispozitive inovative antiseismice care includ prevederi suplimentare din EN 1998-1 în versiunea curentă Mai 2004. Se face referință la clauzele din această versiune. Numerotarea figurilor, tabelor și ecuațiilor este indicativă. Sistemele discutate sunt îmbinări disipative, grinzi de legătură disipative, îmbinări de continuitate disipative, bare disipative și panouri de forfecare demontabile și contravânturi modificate.

2 IMBINĂRI CU BOLȚURI INERD

2.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE

(1) Cadrele cu contravântuiri centrice și îmbinări disipative sunt acelea în care îmbinările contravântuirilor cu elementele adiacente sunt disipative și parțial rezistente în comparație cu contravântuirea astfel încât energia poate fi disipată în îmbinare, în timp ce contravântuirile și celelalte elemente sunt protejate împotriva flambajului și curgerii. Îmbinarea constă într-un bolț care trece prin două plăci exterioare prinse pe stâlpii/grinzile cadrului, și unul sau două plăci interioare prinse pe contravântuiri (Figura 6.1). Se pot folosi îmbinări articulate la una sau la ambele capete ale diagonalelor.

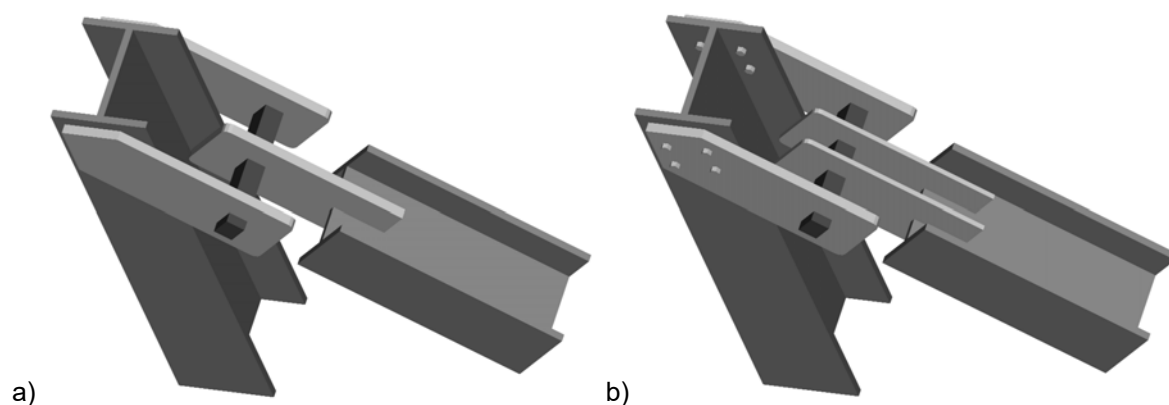


Figura 6.1: Configurație posibilă a îmbinării disipative cu bolț

2.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE

Tabelul 6.2: Limită superioară a valorilor de referință a factorilor de comportare pentru sistemele regulate în elevație

Tip de structură	Clasă de ductilitate	
	DCM	DCH
Îmbinare cu bolț INERD		
La ambele capete al diagonalei	3.0	4.0
La un capăt al diagonalei	2.0	3.0

2.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.3, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTE DISIPATIVE LA COMPRESIUNE SAU ÎNCOVOIERE

(3) Pentru a asigura că bolțurile disipative vor fi încărcate în principal în încovoiere, lungimea lor trebuie să fie astfel încât

$$a \geq h \quad \text{Ec. (6.1)}$$

unde h înălțimea bolțului
 a distanța între plăcile interioare și exterioare

2.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.5, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI ÎN ZONE DISIPATIVE

(8) Rezistența R_d a sudurilor sau șuruburilor îmbinării disipative cu bolț trebuie să satisfacă criteriul

$$R_d \geq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot P_{u,Rd} \quad \text{Ec. (6.2)}$$

unde $P_{u,Rd}$ este rezistența ultimă a îmbinării cu bolț considerată
 $\gamma_{ov} = 1.25$ este factorul de supra-rezistență recomandat

Pentru îmbinări cu șuruburi, trebuie folosite șuruburi de Înaltă Rezistență Pretensionate (Categorii B, C sau E conform EN1993-1-8).

2.5 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.7 REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CONTRAVÂNTUITE CENTRIC

6.7.1 Criterii de proiectare

(4)P Cadrele contravântuite centric cu îmbinări disipative cu bolț trebuie să fie proiectate astfel încât curgerea în încovoiere a bolțurilor are loc înainte de flambajul contravântuirilor sau curgerea elementelor sau părților adiacente.

6.7.2 Calcul

(2)P – în cadrele cu îmbinări disipative cu bolț trebuie luate în considerare ambele diagonale întinsă și comprimată. Îmbinarea cu bolț poate fi modelată ca un resort axial cu constantă de resort:

- Pentru o placă interioară:

$$K_{pin} = \frac{32 \cdot EI}{\ell^3} \quad \text{Ec. (6.3)}$$

- Pentru două plăci interioare:

$$K_{pin} = \frac{8 \cdot EI}{a \cdot \ell^2 \cdot \alpha \cdot (3 - 4 \cdot \alpha)} \quad \text{Ec. (6.4)}$$

unde EI rigiditatea la încovoiere a bolțului
 ℓ distanța dintre plăcile exterioare
 $\alpha = a / \ell$

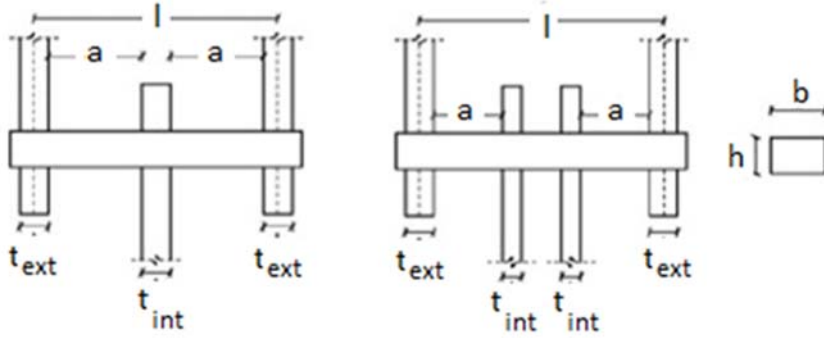


Figura 6.2: Proprietățile geometrice ale îmbinărilor disipative cu bolț

6.7.3 Diagonale

(10) Bolțurile disipative sunt proiectate la cele mai mari forțe din contravântuire în situația de proiectare seismică, conform:

$$P_{Ed} \leq P_{u,Rd} \quad \text{Ec. (6.5)}$$

unde P_{Ed} forța axială de proiectare a contravânturii și a îmbinării
 $P_{u,Rd}$ rezistența ultimă a îmbinării

Rezistența îmbinării datorată încovoierii și forfecării bolțului este definită în Ec. (6.6a) și (6.6b). Factorul β_{III} definește procentul bolțului care a suferit deformații plastice semnificative în fiecare parte, cu $0 \leq \beta_{III} \leq 0.5$. Rezistența ultimă a îmbinării este obținută printr-un proces iterativ, prin schimbarea factorului β_{III} , astfel încât cele două valori ale ecuațiilor (6.6a) și (6.6b) devin egale.

$$P_{u,M,Rd} = k_{pin} \cdot \frac{4 \cdot M_u}{a_{red,III} \cdot \gamma_{pu}} \quad \text{Ec. (6.6a)}$$

$$P_{u,V,Rd} = k_{pin} \cdot \frac{2 \cdot b \cdot (1 - 2 \cdot \beta_{III}) \cdot h \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{pu}} \quad \text{Ec. (6.6b)}$$

unde $M_u = W_{u,pl} \cdot f_{mid}$ rezistența plastică ultimă a bolțului
 $f_{mid} = f_y + (f_u - f_y) \cdot \lambda_f / 2$ tensiunea maximă normală a bolțului

$$\lambda_f = \left(\frac{a - h}{2 \cdot h} \right)^2 \text{ un factor pentru influența forfecării cu } 0 \leq \lambda_f \leq 1$$

$W_{u,pl} = b \cdot h^2 \cdot \left[\beta_{III} - \beta_{III}^2 + \chi \cdot (0.5 - \beta_{III})^2 \right]$ modulul plastic al bolțului, luând în considerare reducerea datorată eforturilor de forfecare.

$$\chi = \sqrt{1 - (f_y / f_{mid})^2}$$

(11) Supra-rezistența bolțului i este definită de expresia:

$$\Omega_i = \frac{P_{u,Rd,i}}{P_{Ed,i}} \quad \text{Ec. (6.7)}$$

Alegerea dimensiunilor bolțului trebuie făcută astfel încât valoarea lui Ω_i să fie aproape de 1.

Pentru a obține o comportare globală disipativă omogenă a structurii, trebuie verificat ca raportul supra-rezistenței maxime Ω_{max} pe întreaga structură să nu difere de valoarea minimă Ω_{min} cu mai mult de 25%:

$$\frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} \leq 1.25 \quad \text{Ec. (6.8)}$$

(12) Diagonalele trebuie să fie verificate la curgere și flambaj presupunând atingerea capacității bolțurilor la capetele lor:

$$N_{Ed} = \Omega_{max} \cdot P_{u,Rd} \quad \text{Ec. (6.9)}$$

unde Ω_{max} este valoarea maximă a supra-rezistenței tuturor îmbinărilor articulate ale diagonalelor

6.7.4 Grinzi și stâlpi

Grinzile și stâlpii de care se prind contravântuirile cu îmbinări INERD flexibile trebuie să îndeplinească următoarele cerințe minime de rezistență:

$$N_{pl,Rd}(M_{Ed}) \geq N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.10)}$$

unde $N_{pl,Rd}(M_{Ed})$ este rezistența axială de proiectare a elementului cadrului conform EN1993, luând în considerare interacțiunea cu momentul încovoietor M_{Ed}
 $N_{Ed,G}$ este forța axială a elementului cadrului datorată acțiunii ne-seismice din combinația seismică

$N_{Ed,E}$ este forța axială a elementului cadrului datorată acțiunii seismice din combinația seismică

Ω_{min} este valoarea minimă a supra-rezistenței tuturor îmbinărilor articulate ale diagonalelor

Această cerință poate fi exprimată în următoarea clauză:

- (4) Grinzile și stâlpii de care se prind contravântuirile cu îmbinări disipative cu bolț pot fi verificate conform 6.7.4 (1), unde Ω este valoarea minimă a supra-rezistenței tuturor îmbinărilor articulate ale diagonalelor.

Factorul de mărire ($1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega$) nu poate depăși valoarea factorului de comportare q folosit în calcul.

Rezistența minimă la curgere actuală a bolțului din oțel trebuie să fie cât mai aproape de valoarea ei nominală pentru a obține o proiectare economică. Acest lucru se poate obține dacă oțelul bolțului respectă cerințele de la 6.2 (3)a sau 6.2 (3)c.

6.7.5 Modelarea bolțului pentru analiza statică neliniară (pushover)

Îmbinarea disipativă cu bolț poate fi reprezentată de un resort neliniar axial la capătul diagonalei cu proprietățile ilustrate în Figura 6.3. Punctele caracteristice care definesc proprietățile resortului axial sunt date în tabel.

Point	P	δ_{pl}
A	0	0
B	P_{yd}	0
C	P_{ud}	$0.5 \cdot h$
D	P_{ud}	a
E	$0.5 \cdot P_{ud}$	a
F	$0.5 \cdot P_{ud}$	$1.5 \cdot a$
Criterii de acceptare (δ_{pl})		
IO	$0.25 \cdot h$	
LS	$0.6 \cdot h$	
CP	$0.8 \cdot a$	

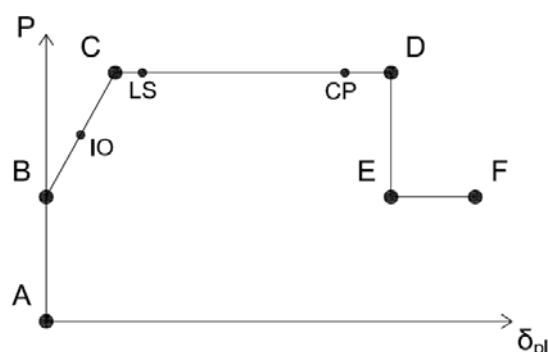


Figura 6.3: Proprietățile neliniare ale resortului îmbinării disipative cu bolț și nivele de performanță

6.7.6 Modelarea bolțului pentru analiza neliniară dinamică

- (1) Legea statică neliniară a bolțurilor disipative descrise în 6.7.5 poate fi extinsă pentru a manifesta o comportare histeretică adecvată. Figura 6.4 prezintă o lege histeretică tipică, unde se poate vedea că este necesară atenție specială pentru a modela alunecarea din timpul încărcării ciclice.

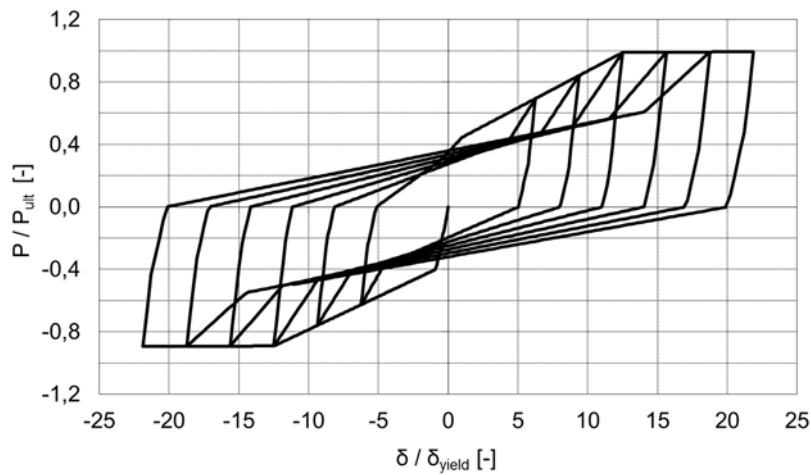


Figura 6.4: Comportarea histeretică a resortului neliniar al îmbinării disipative cu bolț

(2) Când se efectuează analize dinamice neliniare, trebuie examinată deteriorarea bolțului la oboseală oligo-ciclică. Următoarea curbă de deteriorare trebuie să fie considerată pentru bolțurile disipative:

$$\log N = 6 - 3 \cdot \log S \quad \text{Ec. (6.11)}$$

Indicele deteriorării poate fi determinat din desfășurarea tensiunilor din îmbinarea cu bolț în timp conform Anexei A din EN1993-1-9.

3 IMBINĂRI U INERD

3.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE

- (2) Îmbinarea U este o soluție potrivită pentru cadre contravântuite centric (Figura 6.09). Îmbinarea U constă într-una sau două plăci groase în formă de U încovoiate (Figura 6.12) care prind contravântuirea de elementele adiacente. Îmbinarea contravântuirii cu dispozitivul U poate fi paralelă sau perpendiculară (Figura 6.11).
- (3) Îmbinarea U este proiectată ca o îmbinare disipativă.
- (4) Îmbinarea U este potrivită pentru structuri mai puțin sensibile la deplasări mari. În cazul clădirilor multi-etajate, maxim 6 nivele.

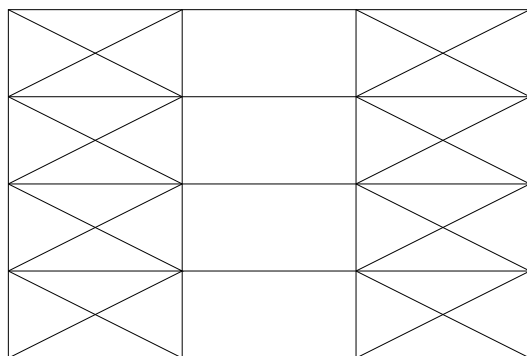


Figura 6.09: Tip de cadru pentru implementarea îmbinării U: cadre contravântuite centric

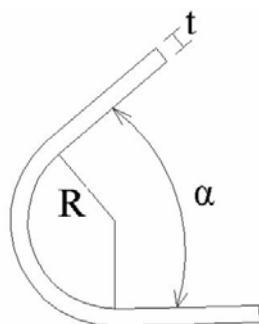


Figura 6.12: Dispozitivul U

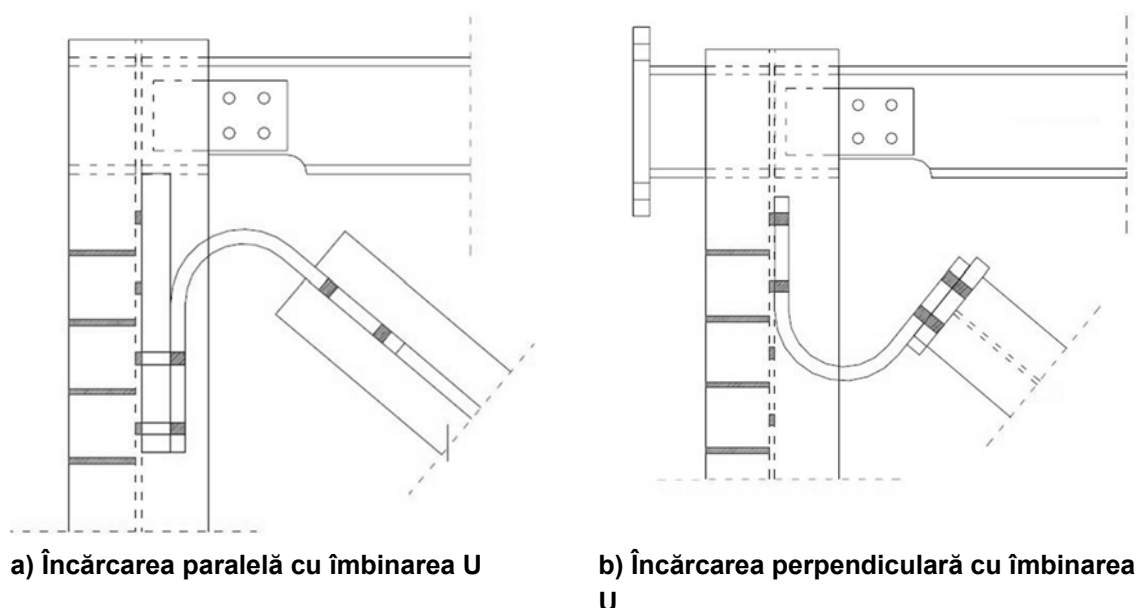


Figura 6.11: Tipologia îmbinării dintre contravântuire și dispozitivul U

3.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE

Tabelul 6.2: Limită superioară a valorilor de referință a factorilor de comportare pentru sistemele regulate în elevație

Îmbinarea U	3.0
-------------	-----

3.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULUI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU ÎMBINĂRI U

6.12.1 Calcul

Îmbinarea U poate fi calculată după cum urmează:

- Prin intermediul elementelor de tip bară. Numărul de elemente trebuie să fie suficient astfel încât să se reproducă curbura dispozitivului. Îmbinarea dintre elementele îmbinării U și elementele structurale (stâlpi și contravântuiri) este rigidă (continuă)
- Prin intermediul unor resorturi echivalente. În modelul structural, îmbinarea dintre elemente (stâlpi și contravântuiri) este realizată folosind un resort. Comportarea resortului aproximează comportarea îmbinării U.

Îmbinările grindă – stâlp și la baza stâlpului sunt modelate articulat.

6.12.2 Îmbinarea U

Îmbinarea U trebuie verificată la forța axială de proiectare din contravântuire:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{U,Rd}} \leq \quad \text{Ec. (6.32)}$$

unde:

N_{Ed} este forța axială de proiectare din contravântuire

$N_{U,Rd}$ este rezistența de proiectare a îmbinării U

Supra-rezistența îmbinării U este definită de expresia:

$$\Omega = \frac{N_{pl,U,Rd}}{N_{Ed}} \quad \text{Ec. (6.33)}$$

Alegerea dimensiunilor îmbinării U trebuie să fie astfel încât valoarea lui Ω este aproape de 1.

Pentru a obține o comportare disipativă globală a cadrului, trebuie verificat faptul că raportul maxim Ω pe întreaga structură nu diferă de valoarea maximă Ω cu mai mult de 25%.

$$\frac{\max \Omega}{\min \Omega} \leq 1.25 \quad \text{Ec. (6.34)}$$

6.12.3 Stâlpi și contravântuiri în cadrele contravântuite cu îmbinări U

Stâlpii și contravântuirile îmbinate cu dispozitivul de îmbinare U trebuie să fie verificate să reziste la efectele acțiunilor de proiectare după cum urmează:

Stâlpii sistemului pe care se prind legăturile cu bolțuri, și barele de legătură trebuie verificate să preia efectele acțiunilor din proiectarea bazată pe capacitate după cum urmează:

$$N_{Col,Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{Ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.35)}$$

$$N_{Brac,Ed} = 1,1 \cdot \gamma_{Ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.36)}$$

unde:

$N_{Ed,G}$ sunt forțele axiale datorate acțiunilor ne-seismice incluse în combinația de acțiuni pentru situația de proiectare seismică,

$N_{Ed,E}$ sunt forțele axiale datorate acțiunii seismice de proiectare,

$$\Omega = \min \Omega_i = \min \left\{ \frac{M_{pl, pin, Rd, i}}{M_{Ed, i}} \right\} \quad \Omega = \min \Omega_i = \min \left\{ \frac{N_{U, Rd, i}}{N_{Ed, i}} \right\} \quad \text{este factorul de supra-}$$

rezistență minim pentru toate îmbinările U din clădire, a se vedea Ec. (1.2), iar $\gamma_{ov} = 1.25$ este factorul de supra-rezistență a materialului.

Factorul total de creștere a forțelor seismice nu poate depăși valoarea factorului de comportare q folosit în analiză. Limita de curgere reală a oțelului trebuie să fie cât mai aproape posibil de valoarea ei nominală pentru a obține o proiectare economică.

6.12.4 Modelarea îmbinării U pentru analiza statică neliniară (pushover)

Modelul structural folosit pentru analiza statică neliniară (pushover) trebuie să includă răspunsul elementelor structurale și al îmbinărilor în domeniul plastic. În funcție de modelul folosit pentru îmbinarea U, trebuie folosite următoarele:

- Elemente de tip bară: modelul de material trebuie să conțină o lege constitutivă elastică perfect-plastică sau elasto-plastică cu consolidare;
- Elemente de tip resort. Elementul de tip resort trebuie să fie neliniar, iar comportarea trebuie să reproducă comportarea post-elastică a dispozitivului. Se poate face o aproximare a comportării reale printr-o lege multi-liniară.

6.12.5 Modelarea îmbinării U pentru analiza neliniară dinamică

Modelul structural folosit pentru analiza dinamică neliniară trebuie să includă răspunsul elementelor structurale și al îmbinărilor în domeniul plastic și sub încărcare ciclică. În funcție de modelul folosit pentru îmbinarea U, trebuie folosite următoarele:

- Element de tip bară: modelul de material trebuie să conțină o lege ciclică (cu consolidare cinematică);
- Element de tip resort: elementul de tip resort trebuie să fie neliniar, iar comportarea trebuie să reproducă comportarea histeretică a dispozitivului.

4 GRINZI DE LEGĂTURĂ FUSEIS

4.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE

h) Sistemele cu grinzi de legătură FUSEIS sunt compuse din doi stâlpi tari dispuși aproape unul de celălalt, interconectați cu mai multe grinzi. Grinzile se consideră din stâlp în stâlp și pot fi de diferite tipuri de secțiuni, spre exemplu RHS, SHS, CHS sau secțiuni în formă de I. Sistemul cu grinzi de legătură FUSEIS preia încărcări laterale ca o grindă Vierendeel și acționează ca sistem de preluare a încărcării seismice într-un cadru (Figura 6.09)

(6) Grinzile orizontale din sistemul cu grinzi de legătură FUSEIS reprezintă zonele disipative principale unde este localizată capacitatea de disipare a energiei. Se recomandă secțiuni reduse (RBS) pentru a defini clar zonele disipative (Figura 6.10).

Secțiunile reduse (RBS) se proiectează conform EN 1998-3. Îmbinările dintre grinzi și stâlpi pot fi articulate sau semi-rigide. Se preferă îmbinările semi-rigide pentru a obține un sistem aproape autocentrabil cu deplasări reziduale mai mici. Stâlpii pot avea prindere rigidă sau articulată.

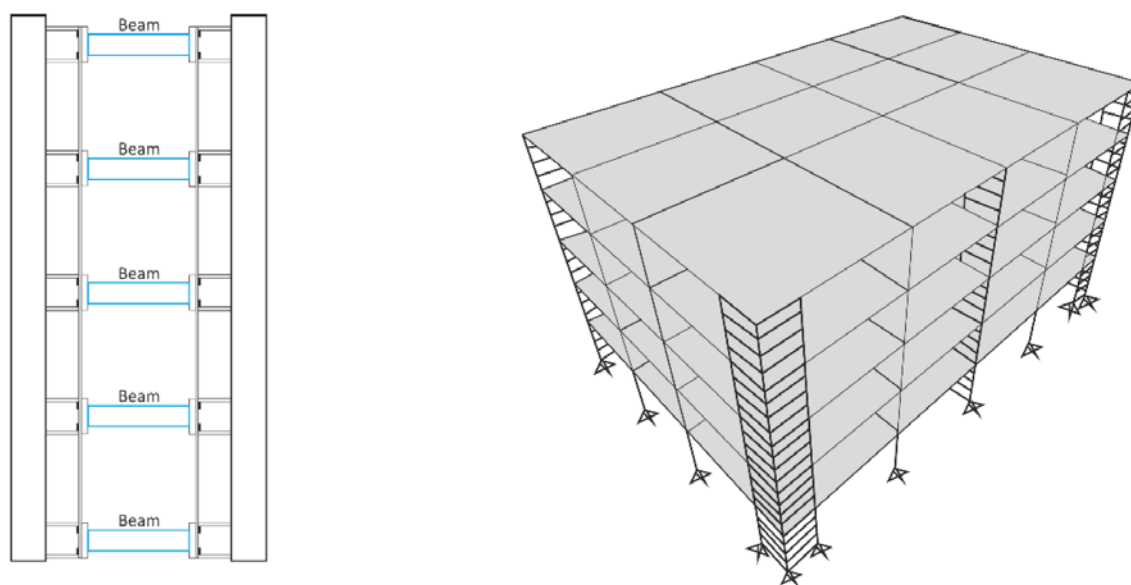


Figura 6.09: Sistemul cu grindă de legătură FUSEIS (stânga) și sisteme multiple localizate în clădire (dreapta)



Figura 6.10: Zonele disipative în grinzile de legătură FUSEIS folosind secțiuni reduse (RBS)

4.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE

Tabelul 6.2: Limită superioară a valorilor de referință a factorilor de comportare pentru sistemele regulate în elevație

TIP DE STRUCTURĂ	Clasă de ductilitate	
	DCM	DCH
h) Grinzi de legătura FUSEIS	3	5

4.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.3, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI ÎN ZONE DISIPATIVE

(3) În cazul sistemului cu grindă de legătură FUSEIS, pentru a evita o interacțiune semnificativă între forfecare și încovoiere, trebuie îndeplinită următoarea ecuație:

$$l_{RBS} > \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{V_{b,pl,Rd}} = \frac{4 \cdot W_{pl,RBS}}{A_v/\sqrt{3}} \quad \text{Ec. (6.1)}$$

Unde:

l_{RBS} = distanța dintre secțiunile reduse (RBS)

$M_{pl,RBS,Rd} = W_{pl,RBS} \cdot f_y$ este rezistența la încovoiere a secțiunii reduse (RBS), unde $W_{pl,RBS}$ este modulul de rezistență plastic corespunzător, iar f_y este limita de curgere

$V_{b,pl,Rd}$ = rezistența la forfecare a secțiunii grinzii

A_v = aria de tăiere a secțiunii grinzii

4.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU GRINZI DE LEGĂTURĂ FUSEIS

6.12.1 Analiza

Sistemele cu grinzi de legătură FUSEIS trebuie reprezentate de elemente FE grindă-stâlp potrivite. Lungimea netă a grinzii trebuie împărțită în 5 zone așa cum se arată în Figura 6.15. Aceste zone trebuie să reprezinte secțiunile brute și secțiunile reduse (RBS). Îmbinările grindă-stâlp împreună cu bazele stâlpilor trebuie să fie reprezentate rigid, semi-rigid sau articulat în conformitate cu detaliul îmbinării. Trebuie să fie furnizate zone rigide din axele stâlpilor până la fața lor pentru a exclude flexibilitățile inexistente ale grinzii.

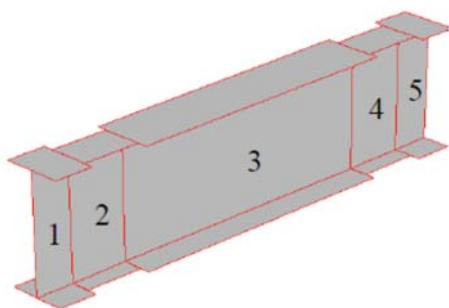


Figura 6.15: Modelarea numerică a grinzii de legătură FUSEIS

6.12.2 Verificarea elementului disipativ

Elementele disipative ale sistemului, adică grinzile de legătură, trebuie să fie verificate să preia eforturile și momentele interne determinate din analiza structurală. Grinzile de legătură trebuie să fie verificate presupunând formarea articulației plastice în secțiunea redusă (RBS).

(1) Capacitatea la încovoiere a secțiunii reduse (RBS) trebuie să fie verificată după cum urmează:

(2)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,RBS,Rd}} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (6.32)}$$

unde:

M_{Ed} = momentul încovoiator de proiectare

$M_{pl,RBS,Rd}$ = Rezistența la încovoiere plastică a secțiunii reduse (RBS)

(2) Rezistența la forfecare trebuie verificată în conformitate cu:

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{b,pl,Rd}} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (6.33)}$$

Unde:

$$V_{CD,Ed} = \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}} \quad \text{Ec. (6.34)}$$

$V_{CD,Ed}$ = rezistența la forfecare

$V_{b,pl,Rd}$ = rezistența la forfecare a secțiunii reduse

dacă 6.5.3 (3) este îndeplinită, se garantează automat Eq 6.34.

(3) Rezistența la încovoiere la capătul grinzii trebuie verificată în conformitate cu:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{b,pl,Rd}} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (6.35)}$$

Unde:

$$M_{CD,Ed} = \frac{l_b}{l_{RBS}} \cdot M_{pl,RBS,Rd} = \text{rezistența la încovoiere, unde:}$$

l_b = lungimea netă a grinzii

l_{RBS} = distanța dintre secțiunile reduse ale grinzii (RBS)

$M_{b,pl,Rd}$ = rezistența la încovoiere a secțiunii reduse (RBS)

(4) Verificările la flambajul prin încovoiere-răsucire a grinzilor de legătură FUSEIS, în general, nu sunt necesare datorită lungimii lor mici.

6.12.3 Verificarea stâlpului tare al sistemului cu grinzi de legătură FUSEIS

(1) Stâlpii FUSEIS trebuie să fie verificați să reziste la acțiunile de proiectare după cum urmează:

$$N_{CD,ED} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.36)}$$

$$M_{CD,ED} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.37)}$$

$$V_{CD,ED} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.38)}$$

Unde:

$N_{Ed,G}, V_{Ed,G}, M_{Ed,G}$ = forțele axiale, forțele tăietoare și momentele încovoietoare din stâlpi datorate acțiunii ne-seismice din combinația de acțiuni la situația de proiectare seismică

$N_{Ed,E}, V_{Ed,E}, M_{Ed,E}$ = forțele axiale, forțele tăietoare și momentele încovoietoare din stâlpi datorate acțiunii seismice de proiectare

$\Omega = \min \Omega_i = \min \{M_{pl,RBS,Rd,i} / M_{Ed,i}\}$ = valoarea minimă a raportului relevant pentru toate grinzile de legătură FUSEIS într-o direcție a clădirii.

6.12.4 Verificarea îmbinării

Îmbinarea dintre grinzile de legătură FUSEIS și stâlpi trebuie verificată la următoarele acțiuni de proiectare:

(1) Dacă se folosesc secțiuni reduse, rezistența la încovoiere trebuie să fie derivată după cum urmează:

$$M_{CD,con,Ed} = \max\{M_1, M_2\} \quad \text{Ec. (6.39)}$$

Unde:

$$M_1 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{l_b}{l_{RBS}} \cdot M_{pl,RBS,Rd} \quad \text{Ec. (6.40)}$$

$$M_2 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{u,b} \quad \text{Ec. (6.41)}$$

Unde:

$$M_{u,b} = W_{pl,b} \cdot f_u \quad \text{Ec. (6.42)}$$

$\gamma_{ov} = f_{y,act} / f_y$ dacă limita de curgere reală a oțelului este cunoscută sau $\gamma_{ov} = 1.25$ în caz contrar

l_b = lungimea netă a grinzii

l_{RBS} = distanța dintre secțiunile reduse ale grinzii (RBS)

$f_{y,act}$ = limita de curgere reală a grinzii

f_u = rezistența ultimă a grinzii

$W_{pl,b}$ = momentul plastic al secțiunii de la capătul grinzii

Rezistența la forfecare a îmbinării poate fi calculată din:

$$V_{CD,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}} \quad \text{Ec. (6.43)}$$

(2) Dacă nu se folosesc secțiuni reduse (RBS) și, alternativ, zona de îmbinare este întărită prin intermediul unor plăci adiționale (Figura 6.16), zona întărită și îmbinarea trebuie să aibă o rezistență la încovoiere egală cu:

$$M_{CD,con,Ed} = \frac{l_b}{l_{net}} \cdot M_{u,b} \quad \text{Ec. (6.44)}$$

Unde

l_b = lungimea netă a grinzii

l_{net} = lungimea netă a grinzii ne-întărite

$M_{u,b} = W_{pl,b} \cdot f_u$

Rezistența la forfecare a îmbinării poate fi calculată din:

$$V_{con,CD} = \frac{2 \cdot M_{CD,con,Ed}}{l_b} \quad \text{Ec. (6.45)}$$

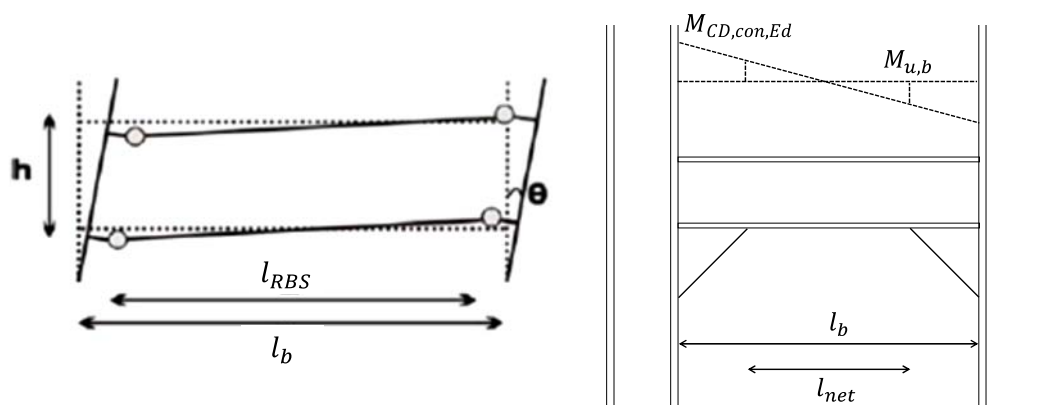


Figura 6.16: Articulații plastice cu secțiuni reduse ale grinzii (RBS) și întărirea capetelor grinzii

6.12.5 Modelarea articulației plastice pentru analiza statică neliniară (pushover)

Pentru elementele disipative, reprezentate de secțiunile reduse ale grinzii (RBS) sistemului cu grinzi de legătură FUSEIS, se pot folosi proprietățile neliniare din Figura 6.17 conform unui model cinematic multi-liniar.

PROPRIETĂȚILE ARTICULAȚIEI (α_{pl} =factor de formă)						
	IPE		SHS		CHS	
Punct	M/M_{pl}	Φ/Φ_{pl}	M/M_{pl}	Φ/Φ_{pl}	M/M_{pl}	Φ/Φ_{pl}
A	0	0	0	0	0	0
$\pm B$	± 1	0	± 0.6	0	± 1	0
$\pm C$	$\pm \alpha_{pl}$	± 40	$\pm \alpha_{pl}$	± 25	$\pm \alpha_{pl}$	± 25
$\pm D$	± 0.6	± 40	± 0.4	± 25	± 0.2	± 25
$\pm E$	± 0.6	± 45	± 0.4	± 30	± 0.2	± 30

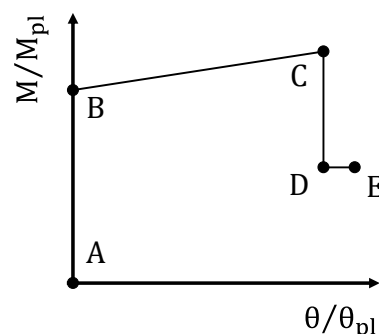


Figura 6.17: Parametrii neliniari ai articulației pentru secțiuni IPE, SHS și CHS utilizabile pentru modelul multi-liniar.

În timpul simulării neliniare, performanța poate fi evaluată prin verificarea criteriilor de acceptare prezentate în Figura 6.18. Se prezintă trei nivele de performanță: Limitarea Degradărilor (DL), Degradare Semnificativă (SD) și Prevenirea Prăbușirii (NC). Nivelele de performanță sunt definite de rapoarte de rotire pentru secțiuni IPE, SHS și CHS

ACCEPTANCE CRITERIA (Φ/Φ_{pl})			
	IPE	SHS	CHS
DL	15	5	6
SD	25	12	10
NC	35	18	16

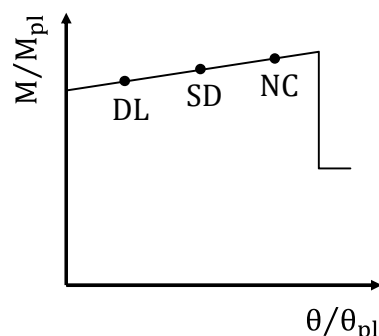
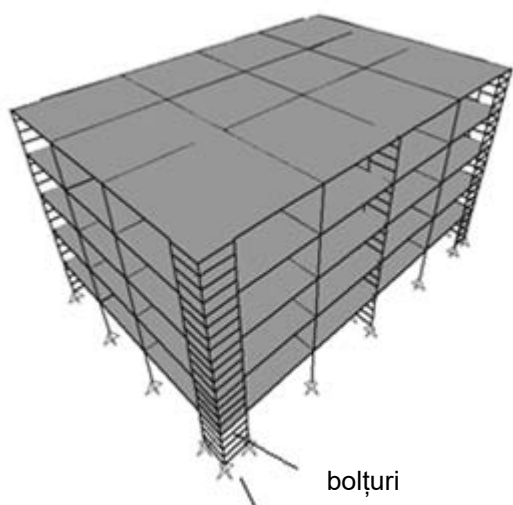


Figura 6.18: Definirea stării limită pentru articulațiile plastice ale grinzilor de legătură FUSEIS

5 BARE CU BOLȚURI FUSEIS

5.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI DE STRUCTURI

- (5) Cadrelor cu bare cu bolțuri FUSEIS sunt acelea în care forțele orizontale sunt în principal preluate de un număr de bare cu bolțuri prinse rigid de stâlpi tari (Figura 6.0). Fiecare bară cu bolț este compusă din două capete de bară legate între ele printr-un bolț din oțel scurt (Figura 6.11a). În mod alternativ, barele de legătură lipsesc și bolțurile sunt prevăzute cu tije în direcții diferite (una la stânga și una la dreapta) la capetele lor și sunt înșurubate direct pe plăcile de capăt care sunt prinse de tălpile stâlpilor (Figura 6.11b). Îmbinările dintre grinzile de planșeu și stâlpi pot fi articulate sau semi-rigide.
- (6) În cadre cu bare cu bolțuri FUSEIS, zonele disipative sunt situate în partea centrală a bolțurilor unde secțiunea bolțului este redusă, astfel încât energia este disipată prin încovoierea ciclică a bolțurilor. Criteriile de proiectare enumerate în par. 6.5.2 pentru zonele disipative se aplică bolțurilor.



Sistemul cu legături cu bolțuri FUSEIS

Figura 6.10: Sistemul cu bare cu bolțuri FUSEIS într-o clădire

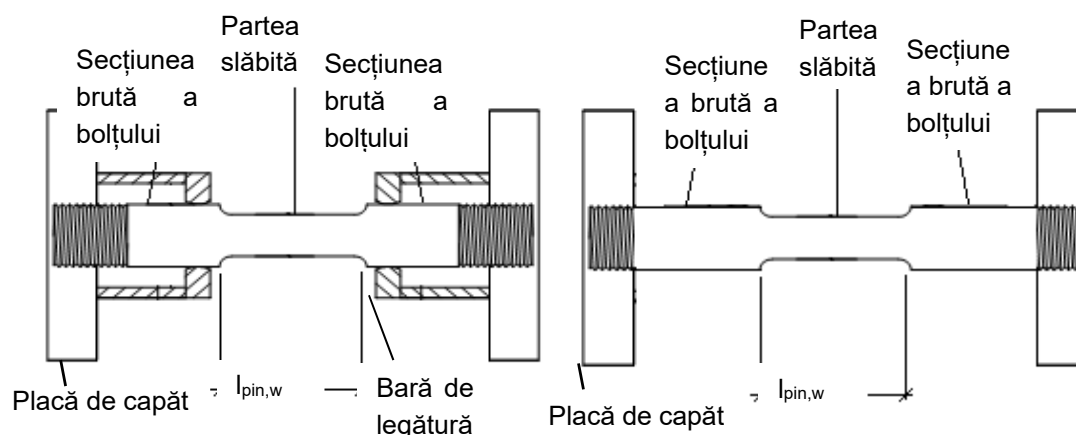


Figura 6.11: Bare cu bolțuri FUSEIS a) cu bare de legătură, b) fără bare de legătură

5.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, FACTORI DE COMPORTARE

Tabelul 6.2: Limita superioară a valorilor de referință a factorilor de comportare pentru sisteme regulate pe înălțime

Tip de structură	Clasă de ductilitate	
	DCM	DCH
Bare cu bolțuri FUSEIS	2.5	3.0
Condiția	$l_{pin,w} < 6 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$	$l_{pin,w} \geq 6 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$

unde:

$l_{pin,w}$ este lungimea părții slăbite a bolțului

$$M_{pl,pin} = W_{pl,pin} \cdot f_y$$

$M_{pl,pin}$ este rezistența plastică la încovoiere a secțiunii slăbite a bolțului

$W_{pl,pin}$ este modulul de rezistență plastic al secțiunii slăbite a bolțului

f_y este rezistența la curgere a bolțului

$$V_{pl,pin} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3}} \text{ și } A_v \text{ este aria părții slăbite a bolțului}$$

$V_{pl,pin}$ este rezistența plastică la forfecare a secțiunii slăbite a bolțului

A_v este aria de forfecare a secțiunii slăbite a bolțului

5.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.5.3, REGULI DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTE DISIPATIVE LA COMPRESIUNE SAU ÎNCOVOIERE

(3) Lungimea părții slăbite a bolțurilor trebuie să îndeplinească

$$l_{pin,w} \geq 4 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin} \quad \text{Ec. (6.1)}$$

Pentru a asigura dezvoltarea mecanismului de încovoiere al bolțului.

5.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU BOLȚURI FUSEIS

6.12.1 Analiza

Barele cu bolțuri pot fi simulate prin elemente de tip grindă care sunt împărțite în trei părți cu secțiuni transversale diferite, după cum urmează.

- Legături cu bare

Secțiunile barelor de legătură la cele două capete și bolțul slăbit în mijloc.

- Legături fără bare

Secțiunea brută a bolțului la cele două capete bolțul slăbit în mijloc.

Îmbinările dintre barele de legătură și stâlpii sistemului sunt modelate ca fiind rigide. Zonele rigide trebuie să fie asigurate din axul stâlpilor până la fața stâlpilor pentru a lua în considerare lungimea lor liberă în analiză și, astfel, să excludă flexibilitatea inexistentă a grinzilor.

Îmbinările dintre grinzile de planșeu și stâlpii sistemului se modelează ca fiind articulate. Cu toate acestea, pentru clădirile compuse se dezvoltă un anumit grad de semi-rigiditate datorită prezenței armăturii planșeului. Bazele stâlpilor pot fi articulate sau fixate.

6.12.2 Bare cu bolțuri

Barele cu bolțuri trebuie să fie verificate presupunând formarea articulațiilor plastice la capetele secțiunii sale transversale slăbite. Capătul cel mai solicitat în situației de proiectare seismică trebuie verificat după cum urmează:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,pin,Rd}} \leq 1 \quad \text{Ec. (6.32)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,pin,Rd}} \leq 1 \quad \text{Ec. (6.33)}$$

unde:

M_{Ed} este momentul încovoiator de proiectare

N_{Ed} este forța axială de proiectare

$M_{pl,pin,Rd}$ este rezistența plastică la încovoiere de proiectare a secțiunii slăbite a bolțului.

$N_{pl,pin,Rd}$ este rezistența de proiectare la forță axială a secțiunii slăbite a bolțului.

Rotirile barelor cu bolțuri pe lungimea slăbită vor fi limitate în conformitate cu următoarea condiție:

$$\theta_{pin} \leq \theta_{pin,lim} = 0.14 \text{ radians} \quad \text{Ec. (6.34)}$$

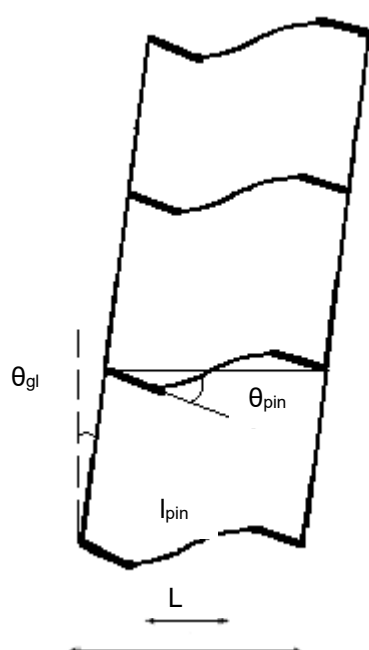


Figura 6.15: Rotirile barelor cu bolțuri

Supra-rezistența unei bare cu bolțuri este definită de expresia:

$$\Omega = \frac{M_{pl,pin,Rd}}{M_{Ed}} \quad \text{Ec. (6.35)}$$

Alegerea dimensiunilor bolțului trebuie să fie astfel încât valoarea lui Ω să fie apropiată de 1.

Pentru a obține o comportare disipativă la nivel global a cadrului, trebuie verificat ca rapoartele maxime Ω pe întreaga structură să nu difere de valoarea minimă Ω cu mai mult de 25%.

$$\frac{\max \Omega}{\min \Omega} \leq 1.25 \quad \text{Ec. (6.36)}$$

6.12.3 Stâlpi pe care se prind barele cu bolț, bară de legătură și imbinările cu stâlpii

Stâlpii sistemului pe care se prind barele cu bolțuri și barele de legătură vor fi verificate pentru a prelua efectele acțiunii din proiectarea bazată pe capacitate după cum urmează:

$$N_{CD,Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.37)}$$

$$M_{CD,Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.38)}$$

$$V_{CD,Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \quad \text{Ec. (3.39)}$$

unde:

$N_{Ed,G}$ ($V_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$) sunt forțele axiale (forțele tăietoare și momentele încovoietoare) datorate acțiunilor ne-seismice incluse în combinația de acțiuni pentru situația seismică de proiectare,

$N_{Ed,E}$ ($V_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$) sunt forțele axiale (forțele tăietoare și momentele încovoietoare) datorate acțiunii seismice de proiectare,

$$\Omega = \min \Omega_i = \min \left\{ \frac{M_{pl,pin,Rd,i}}{M_{Ed,i}} \right\} \text{ este supra-rezistența minimă pentru toate bolțurile}$$

clădirii, vezi (5),

$\gamma_{ov} = 1.25$ este supra-rezistența de material și

$\alpha = 1.5$ este o supra-rezistență suplimentară a sistemului.

Factorul de total de creștere a forțelor sau momentelor seismice nu poate depăși valoarea factorului de comportare q folosit în analiză. Rezistența reală de curgere a oțelului ar trebui să fie cât mai aproape posibil de valoarea sa nominală pentru a obține o proiectare economică.

6.12.4 Secțiunile brute ale barelor cu bolțuri

Rezistența la încovoiere a secțiunii brute a barelor cu bolțuri trebuie să fie verificată la zona de contact cu placa de la fața barelor de legătură, în conformitate cu:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1 \quad \text{Ec. (6.10)}$$

unde:

$$M_{Cd,Ed} = \frac{I_{pin}}{I_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd} \quad \text{Ec. (6.11)}$$

l_{pin} este lungimea dintre plăcile de la fața grinzilor de legătură sau plăcile de capăt ale bolțului

$l_{pin,w}$ este lungimea părții slăbite a bolțurilor și

$M_{pl,Rd}$ este rezistența plastică de proiectare la încovoiere a secțiunii brute a bolțului.

6.12.5 Îmbinările barelor cu bolțuri

Categoriile B și C ale îmbinărilor cu șuruburi de înaltă rezistență din categoria 8.8 sau 10.9 trebuie folosite între stâlpii sistemului și plăcile de capăt. Îmbinările trebuie să aibă o supra-rezistență suficientă pentru a se asigura că nu cedează atunci când se formează articulații plastice în bolțuri. Acestea trebuie să fie proiectate pentru momentul încovoiător și forța tăietoare din proiectarea bazată pe capacitate, determinată din Ec. 6.42 și 6.43:

$$M_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{l_{pin}}{l_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd} \quad \text{Ec. (6.12)}$$

$$V_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,pin,Rd}}{l_{pin,w}} \quad \text{Ec. (6.13)}$$

6.12.6 Modelarea bolțului pentru analiza statică neliniară (pushover)

Modelul structural folosit în analiza elastică trebuie extins astfel încât să includă răspunsul elementelor structurale dincolo de starea elastică și să estimeze mecanismele plastice presupuse și distribuția deteriorărilor. Proprietățile articulațiilor plastice ale barelor cu bolțuri sunt amplasate la capetele secțiunilor lor slăbite și sunt ilustrate în Figura 6.16, în timp ce valorile parametrilor sunt date în Tabelul 6.4 unde M reprezintă momentele, θ rotirile.

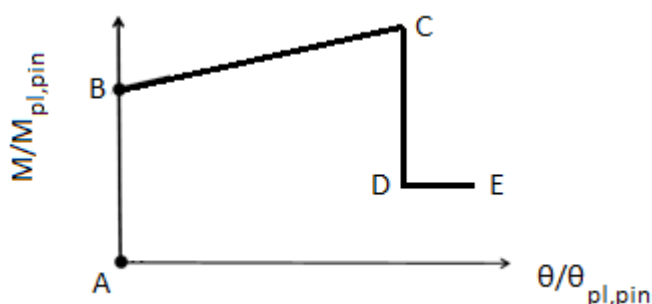
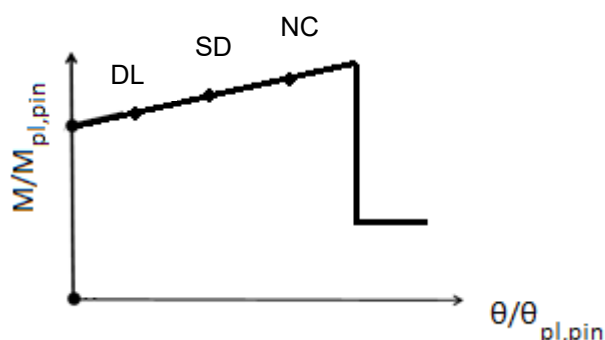


Figura 6.16: Proprietățile articulațiilor plastice neliniare ale barelor cu bolțuri

Tabelul 6.4: Valorile punctelor caracteristice ale barelor cu bolțuri

Punctul	$M/M_{pl,pin}$	$\theta/\theta_{pl,pin}$
A	0	0
B	1	0
C	2	100
D	0,5	100
E	0,5	150

Tabelul 6.5 furnizează capacitățile de rotire plastică ale barelor cu bolțuri la cele trei stări limită considerate care sunt marcate în Figura 6.17.

**Figura 6.17: Stări limită pentru barele cu bolțuri****Tabelul 6.5: Capacitățile de rotire plastică a bolțurilor**

Stare limită	DL(limitarea degradărilor)	SD(degradări semnificative)	NC (prevenirea prăbușirii)
$\theta/\theta_{pl,pin}$	30	45	60

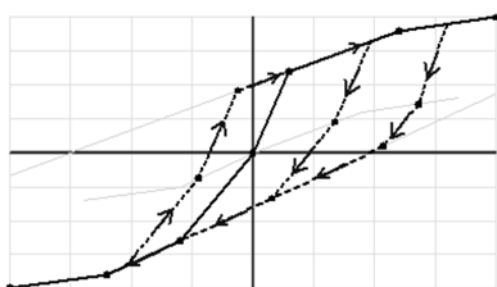
6.12.7 Modelarea bolțului pentru analiza dinamică neliniară

- Modelarea

În analiza dinamică neliniară, barele cu bolțuri sunt reprezentate de elemente de legătură plastice multi-liniare amplasate la capetele părții slăbite a bolțului. Comportarea legăturii neliniare este definită numai pentru gradul de libertate al rotirii față de axa principală de inerție, în timp ce gradele de libertate rămase sunt modelate ca fiind liniare. Proprietățile neliniare aplicate includ o curbă moment-rotire cu capacități la încovoiere pozitive și negative egale cu capacitatea plastică la încovoiere și rigiditatea inițială a bolțului la momente pozitive și negative (Tabelul 6.6). Tipul de histereză ar trebui să fie cel furnizat de modelul cinematic plastic multi-liniar (Figura 6.18).

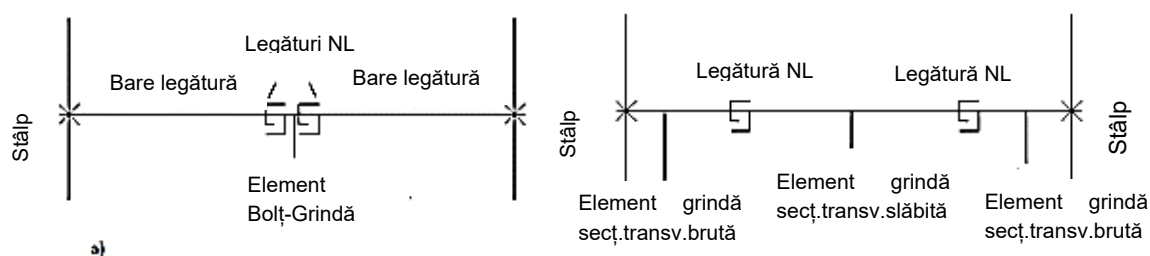
Tabelul 6.6: Definiția multi-liniară forță-deformație

Punctul	Moment	Rotire
1	$-2 M_{pl, pin}$	$-100 \theta_{pl, pin}$
2	$-1 M_{pl, pin}$	$-20 \theta_{pl, pin}$
3	0	0
4	$1 M_{pl, pin}$	$20 \theta_{pl, pin}$
5	$2 M_{pl, pin}$	$100 \theta_{pl, pin}$

**Figura 6.18: Stări limită pentru modelul cinematic plastic multi-liniar al barelor cu bolțuri**

Partea rămasă este modelată după cum urmează:

- Legături cu bara
Partea din mijloc a bolțului și barele de la capete sunt modelate ca elemente de tip grindă cu secțiunile transversale corespunzătoare (Figura 6.19a).
- Legături fără bare
Partea centrală a bolțului este reprezentată de un element de tip grindă cu secțiunea slăbită a bolțului, în timp ce părțile de capăt ale bolțului sunt modelate prin elemente de tip grindă cu secțiunea transversală brută a bolțului (Figura 6.19b).

**Figura 6.19: Reprezentarea barelor cu bolțuri a) cu, b) fără bare de legătură**

- Verificările la oboseală oligo-ciclică

Atunci când se efectuează o analiză ciclică neliniară, se examinează deteriorarea bolțurilor datorită oboselii oligo-ciclice. În funcție de curba de deteriorare pentru bolțuri se aplică:

$$\log N = -0.90 - 3 \cdot \log \Delta\theta \quad \text{Ec. (6.14)}$$

unde:

$\Delta\theta$ este intervalul de rotire al barelor cu bolțuri

N este numărul de cicluri corespunzător până la cedare

Indicele daunelor D poate fi determinat de legea Palmgren - Miner a acumulării daunelor după cum urmează:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad \text{Ec. (6.15)}$$

unde:

n_i este numărul de cicluri efectuate la aceeași valoare a tensiunii S_i ,

N_{fi} este numărul de cicluri după care apare cedarea în cazul unei amplitudini constante și

i este numărul total de cicluri de amplitudine constantă.

Histograma intervalelor de deformare poate fi determinată prin aplicarea metodei rezervorului.

6 IMBINĂRI DE CONTINUITATE CU ȘURUBURI ȘI SUDATE FUSEIS

6.1 PREVEDERI DE PROIECTARE DE INCLUS ÎN CAPITOLUL 7 AL EN1998-1-1

7.1 Generalități

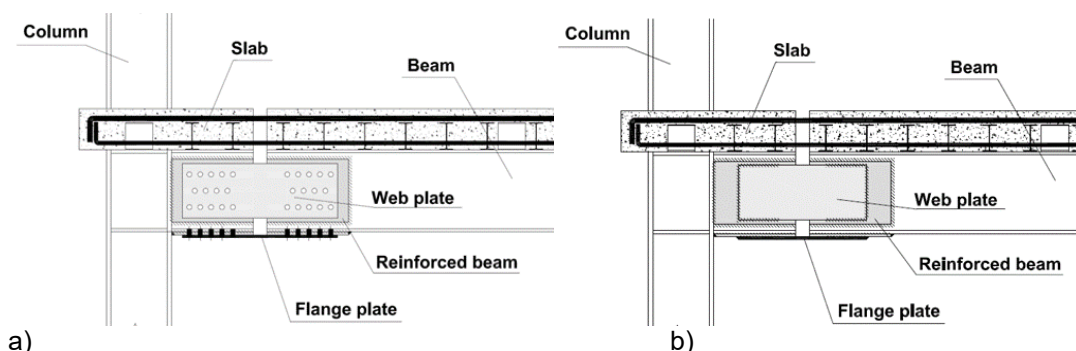
7.1.2 Principii de proiectare

(5)P La sfârșitul propoziției, se adaugă următoarele: "Pentru cadrele compuse necontravântuite cu îmbinări de continuitate disipative ale grinzilor, a se vedea 7.8.5".

7.3 Tipuri de structuri și factori de comportare

7.3.1 Tipuri de structuri

g) Cadrele compuse necontravântuite cu îmbinări de continuitate disipative ale grinzilor: structuri cu aceeași definiție și limitări indicate în 7.3.1(1)a, dar cu îmbinări de continuitate ale grinzilor drept îmbinări disipative. În îmbinarea de continuitate disipativă a grinzilor, grinzile compuse din oțel-beton întrerupte sunt restaurate cu eclise din oțel care leagă inima și talpa inferioară a grinzilor. Eclisele din oțel pot fi prinse cu șuruburi sau sudate pe grindă. Partea grinzii din apropierea întreruperii este întărită cu plăci de oțel suplimentare sudate atât pe inimă, cât și pe talpă, de asemenea și stâlpul este întărit în corespondență cu îmbinarea grinzii cu stâlpul. Interspațiul din placa de beton chiar deasupra siguranței este destinat să evite deteriorarea gravă a betonului, permițând siguranței să dezvolte rotații mai mari, evitând atât zdrobirea betonului, cât și deteriorarea finisajelor pardoselii. Configurația dispozitivului pe o îmbinare tipică grindă-stâlp este prezentată mai jos.



a) b)
Figura 7.3: Îmbinări de continuitate a grinzii FUSEIS cu a) eclise prinse cu șuruburi, b) eclise sudate

7.3.2 Factor de comportare

Tabelul 7.2: Limita superioară a valorilor de referință a factorilor de comportare pentru sisteme regulate pe înălțime

Tip de structură	Clasă de ductilitate	
	DCM	DCH
g) Cadre necontravântuite compuse cu îmbinări de continuitate disipative ale grinzilor	3.0	4.0

7.8 Reguli de proiectare și detaliere pentru cadre necontravântuite cu îmbinări de continuitate disipative

7.8.1 Criterii specifice

(1)P 6.6.1(1)P se aplică, însă cu articulațiile plastice formate în îmbinările de continuitate ale grinzilor. Izolarea comportării inelastice în îmbinările de continuitate disipative ale grinzilor trebuie să împiedice răspândirea deteriorărilor în grinzi și stâlpi. Pentru a asigura că piesele de neînlocuit rămân nedeteriorate, acestea trebuie proiectate astfel încât să rămână în regimul elastic atunci când îmbinarea de continuitate a grinzii își atinge capacitatea.

(2)P 7.7.1(2)P se aplică.

(3) Privind amplasarea zonelor disipative, se aplică 7.5.2(5)P.

(4) Configurația necesară pentru formarea articulațiilor plastice trebuie obținută în conformitate cu regulile prezentate în 4.4.2.3, 7.8.3, 7.8.4, 7.8.5.

7.8.2 Analiza

(1)P 7.7.2(1)P se aplică.

(2) 7.7.2(2) se aplică.

(3) 7.7.2(4) se aplică.

7.8.3 Reguli pentru grinzi, stâlpi, îmbinări de continuitate ale grinzilor și armături din oțel

(1) 7.7.3(2)P se aplică.

(2) 6.6.2(2) se aplică cu $M_{pl,Rd}$, $N_{pl,Rd}$ și $V_{pl,Rd}$ înlocuite cu $M_{FUSE,pl,Rd}$, $N_{FUSE,pl,Rd}$ și $V_{FUSE,pl,Rd}$ care sunt rezistența la încovoiere, axială și de forfecare plastice ale îmbinării de continuitate a grinzii.

(3) 6.6.3(1)P se aplică pentru stâlpi dar cu supra-rezistența fiind valoarea minimă a $\Omega = M_{FUSE,pl,Rd,i} / M_{Ed,i}$; $M_{FUSE,pl,Rd,i}$ este momentul plastic al îmbinării de continuitate a grinzii i .

(4) Secțiunile transversale ale grinzilor întărite și lungimea lor necesară sunt proiectate astfel încât zona curentă a grinzii compuse, imediat după întreruperea armăturii, și secțiunea îmbinării grindă-stâlp să rămână elastice. În acest sens, se aplică 6.6.3 (1) P pentru cuantificarea forțelor care acționează. În ceea ce privește verificarea siguranței secțiunilor transversale menționate, trebuie luată în considerare rezistența elastică.

(5) Pentru a evita cedările fragile ale sudurilor sau șuruburilor care leagă plăcile siguranțelor de grindă, acestea trebuie proiectate astfel încât să garanteze că solicitările maxime din siguranțe pot fi transmise în siguranță grinzii.

(6) 7.7.3(6) până la (9) se aplică.

(7) Pentru a asigura un comportament disipativ global al structurii, trebuie verificat ca rapoartele maxime Ω pe întreaga structură să nu difere de valoarea minimă Ω cu mai mult de 25%.

$$\frac{\max \Omega}{\min \Omega} \leq 1.25$$

Ec. (7.16)

7.8.4 Îmbinarea grindă-stâlp

(1) 6.6.4 se aplică considerând îmbinările de continuitate ale grinzilor ca îmbinare.

7.8.5 Condiția de a nu lua în considerare caracterul compus al grinzilor cu planșeul

(1) Deoarece îmbinările de continuitate disipative ale grinzilor sunt compuse exclusiv din elementele disipative din oțel (întreruperea plăcii de beton și a barelor de armătură continue proiectate ca nedisipative), principiul c) poate fi considerat pentru 7.5.2 (2) P.

(2) În acest sens, pentru a valida ipoteza făcută în 7.8.5 (1), armăturile ar trebui proiectate astfel încât să rămână în domeniul elastic.

7.8.6 Modelarea îmbinării de continuitate a grinzii pentru analiza statică și dinamică neliniară

(1) Modelul legăturii plastice multi-liniare poate fi folosit ca model de referință pentru comportamentul elasto-plastic al îmbinărilor disipative. Comportamentul legăturii neliniare este definit doar pentru gradul de libertate al rotirii față de axa principală de inerție, în timp ce gradele de libertate rămase sunt modelate ca fiind liniare. Tipul de histereză ar trebui să fie cel furnizat de modelul pivotului plastic multi-liniar (Dowell, Seible și Wilson, 1998).

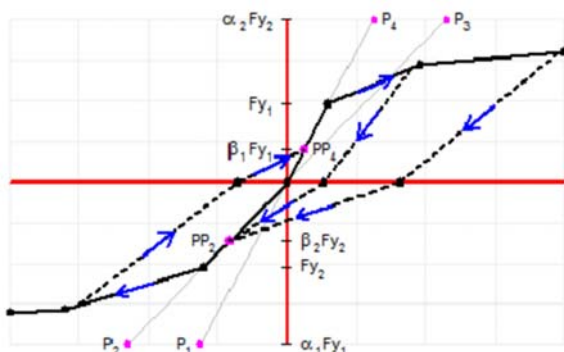


Figura 7.8: Modelul pivotului plastic multi-liniar

(2) Relația moment-rotire a îmbinării de continuitate a grinzii adoptate în analizele neliniare trebuie să ia în considerare în mod corespunzător asimetria comportamentului la moment pozitiv și negativ, precum și declanșarea mecanismelor de cedare la flambaj. Un comportament schematic al îmbinării disipative este reprezentat în figura următoare.

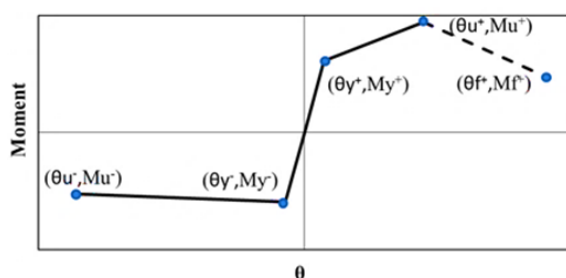


Figura 7.9: Modelarea multiliniară schematică

Notă: Secțiunile 7.8; 7.9; 7.10; 7.11 și 7.12 ale EN 1998-1:2004 se vor considera ca secțiunile 7.9; 7.10; 7.11; 7.12 și 7.13.

6.2 PRINCIPII: PROCEDURA DE PROIECTARE DE LA BAZA RECOMANDĂRILOR DE INCLUS ÎN EN1998-1-1

1) În scopul evitării unei supra-rezistențe excesive, materialul oțel al siguranțelor disipative trebuie să aibă proprietăți controlate. În conformitate cu EN 1998-1-1, rezistența lor la curgere trebuie să aibă o valoare maximă de:

$$f_{y,max} \leq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \quad \text{Ec. (6.1)}$$

unde $\gamma_{ov} = 1.25$ este supra-rezistența și f_y este valoarea nominală a rezistenței la curgere.

2) Înterspațiul din planșeu chiar deasupra siguranței este destinat pentru evitarea deteriorării majore a betonului, permițând siguranței să dezvolte rotiri mai mari, fără contact beton-beton. Lățimea golului în partea din beton armat a siguranței poate fi diferită de cea a părților din oțel ale siguranței. Valorile recomandate pentru lățimea golurilor în betonul armat (placă) și în piesele de oțel sunt, 10% din înălțimea plăcii și 10% din înălțimea totală a secțiunii transversale compuse.

3) Proiectarea îmbinării de continuitate a grinzii și a barei de armătură sunt de așa natură încât armătura rămâne în regimul elastic. Se recomandă ca aria armăturii superioare să fie de două ori aria tălpii siguranței.

4) Rezistența plăcilor de întărire în zona îmbinării de continuitate a grinzii, precum și deschiderea sa minimă de la îmbinarea grindă-stâlp trebuie să fie astfel încât secțiunea îmbinării grindă-stâlp și secțiunea grinzii compuse curente să rămână elastice (Figura 6.1).

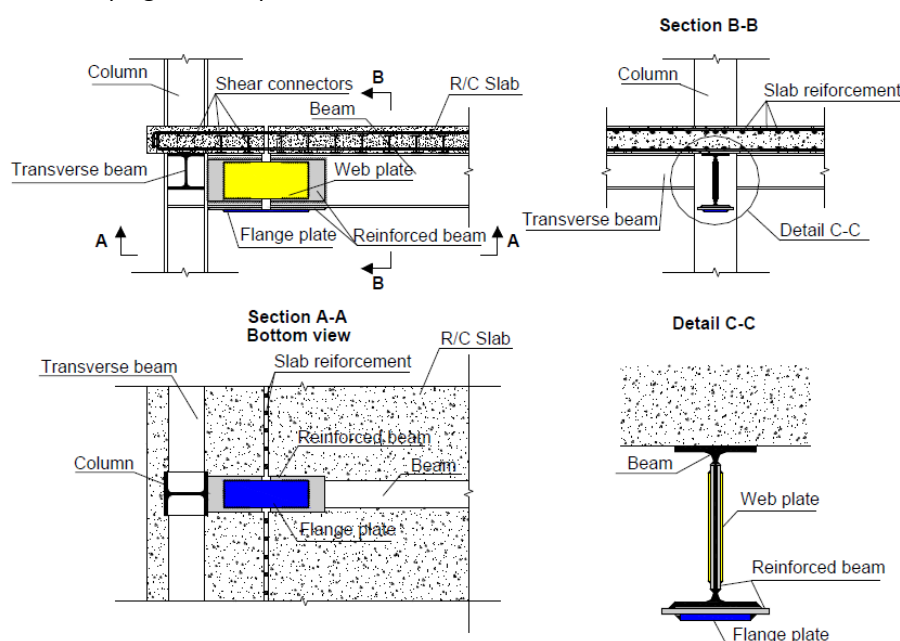


Figura 6.1: Reprezentarea schematică a îmbinărilor sudate de continuitate ale grinzilor FUSEIS

5) Îmbinările sudate sau prinse cu șuruburi de continuitate ale grinzilor FUSEIS trebuie să verifice următoarele verificări de rezistență:

În primul rând, ar trebui să se verifice ca rezistența la încovoiere și forfecare plastice totale să nu fie reduse de forțele de compresiune.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fuse,Rd}} \leq 0.15 \quad \text{Ec. (6.2)}$$

Rezistența la forfecare se verifică cu criteriile de proiectare bazată pe capacitate, având în vedere că articulațiile plastice sunt dezvoltate simultan la ambele capete ale grinzilor MRF. Rezistența la forfecare a îmbinării de continuitate a grinzii se presupune că este oferită exclusiv de eclisele de pe inimă.

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{pl,fuse,Rd}} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (6.3)}$$

unde $V_{CD,Ed} = 2M_{max,fuse}/L_{fuses,ij}$ este forța tăietoare din proiectarea bazată pe capacitate, $M_{max,fuse}$ este momentul maxim dezvoltat de siguranțe, $L_{fuses,ij}$ este distanța dintre siguranțele aceleiași grinzi și $V_{pl,fuse,Rd}$ este rezistența ecliselor de pe inimă.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{max,fuse}} \leq \frac{1}{\Omega} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (6.4)}$$

unde M_{Ed} este momentul încovoietor de proiectare, $M_{max,fuse}$ este momentul maxim al siguranței și Ω este supra-rezistența.

6) Pentru a obține un comportament disipativ global al structurii, trebuie verificat ca rapoartele maxime Ω de pe întreaga structură să nu difere de valoarea minimă Ω cu mai mult de 25%.

$$\frac{\max \Omega}{\min \Omega} \leq 1.25 \quad \text{Ec. (6.5)}$$

7) Elementele nedisipative (stâlpi, grinzi compuse) trebuie să fie proiectate pe bază de capacitate pentru valori mărite ale forțelor interioare în comparație cu cele derivate din analizele cu cea mai nefavorabilă combinație seismică, pentru a se asigura că siguranțele cedează prima dată. Toate elementele iau în considerare următoarele acțiuni din proiectarea bazată pe capacitate:

$$N_{CD,Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.6)}$$

$$M_{CD,Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.7)}$$

$$V_{CD,Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \quad \text{Ec. (6.8)}$$

unde $N_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$ și $V_{Ed,G}$ sunt forțele axiale, forțele tăietoare și momentele încovoietoare datorate acțiunilor ne-seismice incluse în combinația de acțiuni pentru situația seismică de proiectare. $N_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$ și $V_{Ed,E}$ sunt forțele axiale, forțele

tăietoare și momentele încovoietoare datorate acțiunii seismice de proiectare. $\Omega = \min \Omega_i = \min \{M_{max,fuse,i} / M_{Ed,i}\}$ este supra-rezistența minimă pentru toate îmbinările disipative din clădire, vezi Ec. (2.4). $\gamma_{ov} = 1.25$ este supra-rezistența de material, vezi Ec. (6.1).

7 BARE DISIPATIVE DEMONTABILE

7.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.3.1 TIPURI DE STRUCTURI

(6) h) Sistemele cu bare disipative demontabile sunt cadre duale obținute prin combinarea cadrelor necontravântuite cu cadre contravântuite excentric cu bare disipative (linkuri) înlocuibile în care barele disipative sunt prinse cu șuruburi cu intenția de a asigura capacitatea de disipare a energiei prin forfecare ciclică și pot fi înlocuibile, în timp ce cadrele necontravântuite mai flexibile sunt păstrate elastice pentru a asigura forța de revenire necesară pentru re-centrarea structurii după îndepărtarea barelor disipative deteriorate.

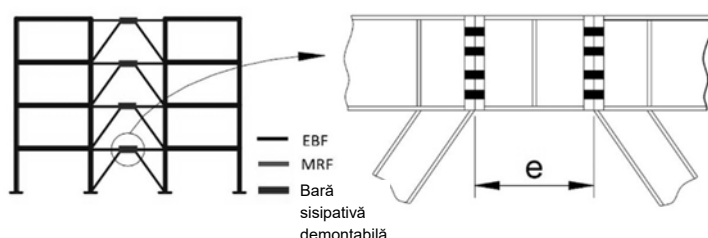


Figura 6.10: Configurație posibilă pentru sistemele cu bare disipative demontabile

7.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.3.2 FACTORI DE COMPORTARE

Tabelul 6.2: Limita superioară a valorilor de referință ale factorilor de comportare pentru sisteme regulate pe înălțime

Tip de structură	Clasă de ductilitate	
	DCM	DCH
h) Sisteme cu bare disipative demontabile	2.5	4

7.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.8.1 CRITERII DE PROIECTARE

(4)P Cadrele contravântuite excentric cu bare disipative înlocuibile trebuie să fie proiectate astfel încât elementele sau părțile de elemente specifice, denumite linkuri (bare disipative) seismice, să poată fi demontate (prinse cu șuruburi) și să fie capabile să disipeze energie prin formarea de mecanisme plastice de forfecare (bare disipative scurte).

7.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.8.4 ÎMBINĂRILE LEGĂTURILOR SEISMICE

(4) Dacă linkurile seismice sunt proiectate pentru a fi detașabile și înlocuibile, acestea trebuie să fie prinse cu șuruburi. Suprafețele de contact ar trebui să fie clasă

B (sablate cu alicie sau nisip cu vopsea pe bază de zinc), asigurând un coeficient de frecare de cel puțin 0.4 și șuruburile trebuie pretensionate.

(5) Se poate folosi o îmbinare grindă-link cu placă de capăt care trebuie să fie menținută elastică. Prin urmare, îmbinarea trebuie să aibă o forță de forfecare $V_{j,Ed}$ și un moment încovoietor $M_{j,Ed}$ de proiectare care să corespundă unui link complet plasticizat și ecruiat:

$$V_{j,Ed} = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{p,link} \quad \text{Ec. (6.32)}$$

$$M_{j,Ed} = \frac{V_{j,Ed} e}{2} \quad \text{Ec. (6.33)}$$

unde

γ_{sh} este factorul de ecruiare.

NOTĂ Valoarea recomandată este $\gamma_{sh} = 1.8$ pentru DCH și $\gamma_{sh} = 1.5$ pentru DCM.

(5) Pentru a obține supra-rezistența îmbinării, ar trebui să se adopte elemente disipative foarte scurte (cu lungimea e limitată la $0.8M_{p,link}/V_{p,link}$).

(6) Flexibilitatea îmbinării cu șuruburi a linkului trebuie considerată în analiza globală.

NOTĂ Dacă se adoptă o îmbinare cu placă de capăt și șuruburi pretensionate, aceasta trebuie considerată infinit rigidă.

(7) Estimarea performanței seismice a îmbinării cu șuruburi grindă-link, supusă unei solicitări ciclice, ar trebui să fie susținută de dovezi experimentale.

(8) Dovezile experimentale pot avea la bază date existente. Altfel, trebuie efectuate încercări experimentale.

7.5 PREVEDERI ADIȚIONALE LA 6.10.2 CADRE SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE COMBINATE CU CONTRAVÂNTUIRI CENTRICE

(7) În cadrele duale obținute prin combinarea cadrelor necontravântuite cu cadre contravântuite, subsistemul mai slab, mai flexibil (cadrele necontravântuite) trebuie să asigure o rezistență minimă structurii. Prin urmare, dualitatea structurii ar trebui validată prin verificarea faptului că cadrele necontravântuite ar trebui să preia cel puțin 25% din forța seismică totală:

$$F_y^{MRF} \geq 0.25 \cdot (F_y^{MRF} + F_y^{BF}) \quad \text{Ec. (6.34)}$$

$$F_y^{MRF} = \frac{4M_{pl,b}}{H} \quad \text{Ec. (6.35)}$$

unde

F_y^{MRF} este rezistența de curgere a cadrelor necontravântuite;

F_y^{BF} este rezistența de curgere a cadrelor contravântuite;

L este deschiderea cadrului (vezi Figura 6.15);

H este înălțimea de nivel (vezi Figura 6.15);

$M_{pl,b}$ este valoarea de proiectare a momentului capabil plastic de la capătul unei grinzi din cadrele necontravântuite, conform EN 1993.

(8) Rezistența de curgere a cadrelor contravântuite excentric trebuie calculată după cum urmează:

$$F_y^{EBF} = \frac{L}{H} \cdot V_{p,link} \quad \text{Ec. (6.36)}$$

unde

$V_{p,link}$ este valoarea de proiectare a rezistenței de forfecare a linkului (vezi 6.8.2).

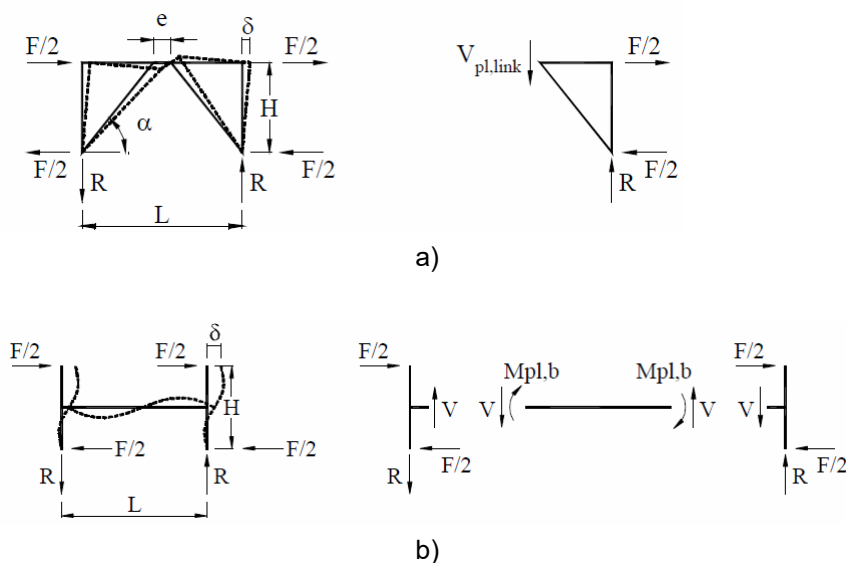


Figura 6.15: Cadru contravântuit excentric și cadru necontravântuit.

7.6 PREVEDERI ADIȚIONALE LA CAPITOLUL 6 REGULI SPECIFICE PENTRU CLĂDIRI DE OȚEL

6.12 Reguli de proiectare și detaliere pentru cadre cu panouri de forfecare demontabile - vezi cap. 8

6.13 Capacitatea de re-centrare a cadrelor duale din oțel

(1) Capacitatea de re-centrare a configurațiilor duale ar trebui verificată prin împiedicarea curgerii în cadrele necontravântuite până la atingerea capacității de deformație ultime în cadrele disipative. Acest lucru poate fi realizat prin menținerea deplasării ultime a cadrelor disipative (la starea limită ultimă) mai mică decât deplasarea de curgere a cadrelor elastice (cadrele necontravântuite):

$$\delta_u^{DIS} < \delta_y^{MRF} \quad \text{Ec. (6.37)}$$

unde

δ_u^{DIS} este deplasarea ultimă a cadrelor disipative la starea limită ultimă;

δ_y^{MRF} este deplasarea de curgere a cadrelor necontravântuite;

6.13.1 Capacitatea de re-centrare a sistemelor cu bare disipative demontabile

6.13.1.1 Verificarea analitică

(1) Cadrele disipative din sistemele cu linkuri prinse cu șuruburi înlocuibile sunt cadrele contravântuite excentric. Deplasarea lor ultimă corespunde atingerii capacității de deformare plastică a linkurilor și ar trebui calculată după cum urmează:

$$\delta_u^{EBF} = \delta_y^{EBF} + \delta_{pl}^{EBF} = \frac{F_y^{EBF}}{K^{EBF}} + \frac{e}{L \cdot e} H \cdot \gamma_{pl,u} < \delta_y^{MRF} = \frac{F_y^{MRF}}{K^{MRF}} \quad \text{Ec. (6.38)}$$

$$K^{EBF} = \frac{K_{link}^{EBF} \cdot K_{br}^{EBF}}{K_{link}^{EBF} + K_{br}^{EBF}} \quad \text{Ec. (6.39)}$$

$$K_{link}^{EBF} = \frac{L}{H^2} \cdot (L \cdot e) \cdot \frac{G \cdot A_s}{e} \quad \text{Ec. (6.40)}$$

$$K_{br}^{EBF} = 2 \cdot \frac{E \cdot A}{I_{br}} \cdot \cos^2 \alpha \quad \text{Ec. (6.41)}$$

$$K^{MRF} = \frac{4}{H^2 \cdot \left(\frac{L}{6 \cdot E \cdot I_b} + \frac{H}{12 \cdot E \cdot I_c} \right)} \quad \text{Ec. (6.42)}$$

unde

δ_u^{EBF} este deplasarea ultimă a cadrelor contravântuite excentric la starea limită ultimă;

δ_y^{EBF} este deplasarea de curgere a cadrelor contravântuite excentric;

δ_{pl}^{EBF} este deplasarea plastică a cadrelor contravântuite excentric;

K^{EBF} este rigiditatea cadrelor contravântuite excentric;

e este lungimea linkului (vezi Figura 6.15);

$\gamma_{pl,u}$ este capacitatea de deformare plastică a linkului;

K^{MRF} este rigiditatea cadrelor necontravântuite;

K_{link}^{EBF} este rigiditatea linkului;

K_{br}^{EBF} este rigiditatea contravântuirilor;

G este modulul de forfecare;

A_s este aria de forfecare a linkului;

- E este modulul lui Young;
- A este aria secțiunii transversale a contravânturii;
- l_{br} este lungimea contravânturii;
- α este unghiul contravânturii;
- I_b este momentul de inerție al grinzii;
- I_c este momentul de inerție al stâlpului.

(2) Procedura analitică ar trebui folosită ca și pre-dimensionare pentru capacitatea de re-centrare.

NOTA 1 Acesta poate fi folosită pentru verificarea capacității de re-centrare a structurilor joase, unde deformata laterală a structurii este dominată de un răspuns de forfecare.

NOTA 2 Pentru a verifica capacitatea de re-centrare a clădirilor de înălțime medie și mare (unde poate apărea o comportare globală de încovoiere pe înălțime) este recomandat să se utilizeze și analize statice și/sau dinamice neliniare.

(3) Deoarece utilizarea formulelor este o abordare aproximativă și simplificată, se recomandă analizele statice și/sau dinamice neliniare pentru toate structurile pentru a verifica capacitatea de re-centrare.

6.13.1.2 Modelarea linkurilor pentru analiza statică neliniară

(1) Comportamentul neliniar la forfecare al linkurilor scurte prinse cu șuruburi trebuie descris de următoarea curbă de comportare:

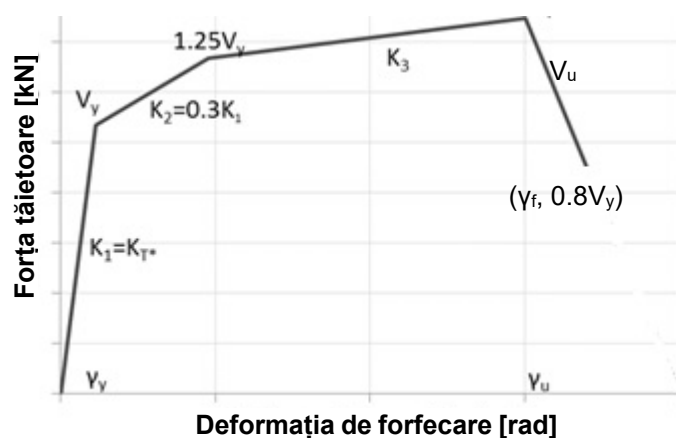


Figura 6.16: Comportamentul neliniar al linkurilor de forfecare.

unde

K_1 este rigiditatea inițială a linkului;

V_y este rezistența de forfecare a linkului ($V_{p,link}$);

V_u este rezistența ultimă a linkului;

NOTĂ Se recomandă folosirea $1.8V_y$ în cazul DCH și $1.5V_y$ în cazul DCM.

γ_u este rotirea de forfecare ultimă a linkului;

NOTĂ Se recomandă folosirea 0.15 rad pentru DCH și 0.1 rad pentru DCM.

γ_f este rotirea de forfecare la cedarea linkului;

NOTĂ Se recomandă folosirea 0.17 rad pentru DCH și 0.11 rad pentru DCM.

6.13.1.3 Modelarea linkurilor pentru analiza dinamică neliniară

(1) Trebuie luat în considerare comportamentul histeretic al linkurilor de forfecare prinse cu șuruburi. Curba histeretică ar trebui formulată cu reguli de degradare a rigidității și rezistenței, precum și de alunecare. Se pot folosi parametrii pentru regulile histeretice prezentate în Tabelul 6.4

Tabelul 6.4: Parametrii pentru comportamentul histeretic al linkurilor de forfecare prinse cu șuruburi

Parametru specific	Valoare
Parametru de degradare a rigidității	20
Parametru de reducere a rezistenței bazat pe ductilitate	0.001
Parametru histeretic de reducere a rezistenței bazat pe energie	0.001
Parametru de netezire pentru tranziția elastic-plastic	10
Parametru pentru forma descărcării	0.5
Parametru pentru lungimea de lunecare	0
Parametru pentru precizia lunecării	100
Parametru pentru nivelul momentului mediu de lunecare	0
Exponent al resortului de închidere a interspațiilor	10
Parametru de curbură al închiderii interspațiilor	1000
Coeficient de rigiditate al închiderii interspațiilor	1

8 PANOURI DE FORFECARE DEMONTABILE

8.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI STRUCTURALE

- (1) Cadre cu panouri de forfecare demontabile sunt acelea în care forțele orizontale sunt preluate în mare parte de elementele supuse la forfecare

Cadre necontravântuite (MRF) combinate cu panouri de forfecare demontabile.

- (6) În cadrele cu panouri de forfecare demontabile, zonele disipative trebuie să fie localizate, în principal, în panouri.

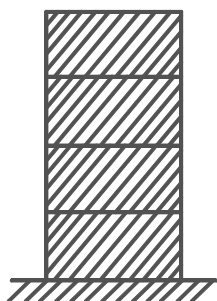


Figura 6.10: Cadre cu panouri de forfecare demontabile (zone disipative numai în panourile de forfecare demontabile). Valori implicite pentru α_u/α_1 (a se vedea 6.3.2(3) și tabelul 6.2).

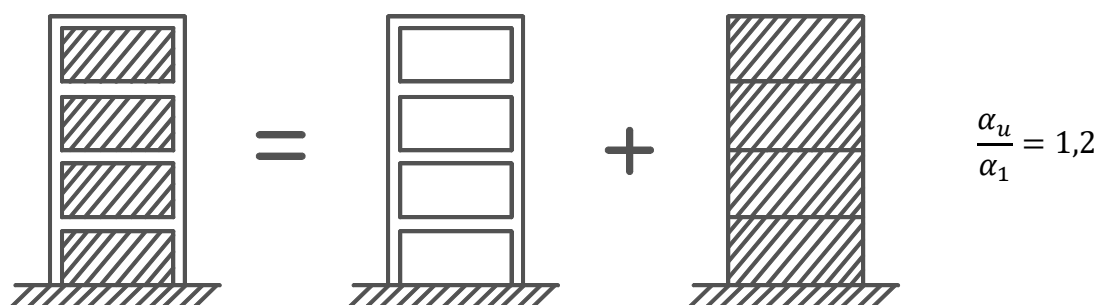


Figura 6.11: Cadrele necontravântuite combinate cu panouri de forfecare demontabile (zone disipative în grinzile MRF și panouri de forfecare). Valori implicite pentru α_u/α_1 (a se vedea 6.3.2(3) și Tabelul 6.2).

8.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, TABEL 6.2 FACTORI DE COMPORTARE

Tabelul 6.2: Limită superioară a valorilor de referință a factorilor de comportare pentru sistemele regulate în elevație

TIPUL DE STRUCTURĂ	Calsa de ductilitate	
	DCM	DCH
h) Cadre cu panouri de forfecare demontabile	4	$5 \alpha_u / \alpha_1$
Cadre necontravântuite cu panouri de forfecare	4	$5 \alpha_u / \alpha_1$

8.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.10, REGULI DE PROIECTARE PENTRU STRUCTURI DE OȚEL CU NUCLEE SAU PEREȚI DIN BETON ȘI PENTRU CADRE SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE, COMBinate CU CONTRAVÂNTUIRI CENTRICE SAU PANOURI ÎNRĂMATE

6.10.4 Cadre necontravântuite combinate cu panouri de forfecare demontabile.

(1) Structurile duale cu cadre necontravântuite și contravântuite, care acționează în aceeași direcție, trebuie proiectate folosind un singur factor q . Forțele orizontale trebuie distribuite între cadrele diferite conform rigidității lor elastice.

(2) Cadrele necontravântuite și cele contravântuite trebuie verificate să fie conform **6.6** și **6.12**.

(3) Dualitatea structurii trebuie verificată, prin verificarea că, cadrul necontravântuit este capabil să preia cel puțin 25% din forța seismică totală:

$$F_y^{MRF} \geq 0.25 \cdot (F_y^{MRF} + F_y^{SPSW}) \quad \text{Ec. (6.34)}$$

unde

F_y^{MRF} este rezistența la curgere a cadrelor necontravântuite;

F_y^{SPSW} este rezistența la curgere a panourilor de forfecare demontabile.

8.4 PREVEDERI ADIȚIONALE LA CAPITOLUL 6 REGULI SPECIFICE PENTRU CLĂDIRI DE OȚEL

6.12 Reguli de proiectare și detalieri pentru cadre cu panouri de forfecare demontabile

6.12.1 Criterii de proiectare

(1)P Cadrele cu panouri de forfecare trebuie proiectate astfel încât curgerea panourilor de forfecare din oțel să aibă loc înainte de cedarea îmbinărilor și înainte de curgerea sau flambajul grinzilor sau stâlpilor.

(2)P Sistemul structural trebuie proiectat astfel încât să se realizeze o comportare disipativă omogenă a întregului set de panouri de forfecare.

(3) Se recomandă ca raportul de formă al panourilor de forfecare să fie limitat între $0.8 < L/h < 2.5$.

unde

L este lățimea panoului;

H este înălțimea panoului;

NOTĂ Performanța altor raporturi de formă ale panourilor trebuie verificată experimental și/sau numeric.

6.12.2 Analiza

(1)P Pentru că panourile de forfecare nu preiau încărcări gravitaționale, doar grinzile și stâlpii trebuie să fie considerate la preluarea acestor încărcări.

(2) Pentru o proiectare preliminară, dimensiunile panoului și a elementelor de bordare pot fi determinate prin aproximarea panoului de forfecare cu o diagonală echivalentă, care lucrează numai în întindere (Figura 6.15).

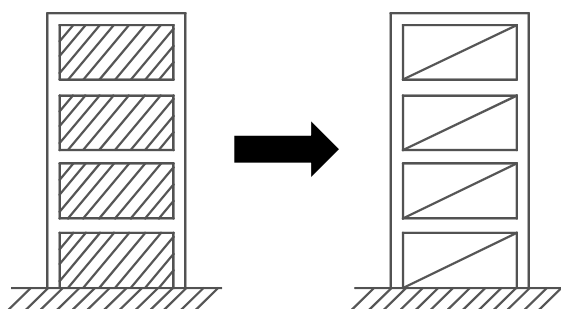


Figura 6.15: Aproximarea panoului de forfecare cu diagonale echivalente

(3) Cadrul cu diagonale echivalente trebuie proiectat în conformitate cu criteriile date în 6.7 pentru cadre contravântuite centric.

6.12.3 Elementele de bordare orizontale și verticale

(1) Elementele de bordare orizontale și verticale trebuie să ia în considerare efortul maxim provenit din câmpul de tensiuni diagonal dezvoltat în panou.

(2)P Elementele de bordare verticale trebuie să prezinte un moment de inerție, după o axă luată perpendicular pe planul inimii, I_c , nu mai mic decât:

$$I_c \geq \frac{0.00307 \cdot t_w \cdot h^4}{L} \quad \text{Ec. (6.32)}$$

unde

t_w este grosimea panoului de forfecare;

h este înălțimea panoului de forfecare, între axele grinzilor de bordare orizontale;

L este lățimea panoului de forfecare, între exele elementelor de bordare verticale;

NOTĂ Dacă sunt folosite diferite secțiuni pentru elementele de bordare verticale atunci valoarea medie a momentului de inerție poate fi folosită în calcul.

(3)P Elementele de bordare orizontale trebuie să prezinte un moment de inerție, după o axă considerată perpendiculară pe planul inimii, I_b , nu mai mic decât:

$$I_b \geq 0.0031 \cdot \frac{\Delta t_w \cdot L^4}{L} h \quad \text{Ec. (6.33)}$$

unde

Δt_w este diferența dintre grosimea panourilor de forfecare deasupra și dedesubtul elementului de bordare orizontal.

6.12.4 Panourile de forfecare

(1) Grosimea panourilor de forfecare poate fi calculată folosind aria diagonalei echivalente (vezi 6.12.2) cu următoarea expresie:

$$t_w = \frac{2 \cdot A_{\text{diagonală}} \cdot \Omega \cdot \sin \theta}{L \cdot \sin 2\alpha} \quad \text{Ec. (6.34)}$$

Unde

$A_{\text{diagonală}}$ este aria diagonalei echivalente;

Ω este factorul de suprazistență al sistemului, considerat 1.2;

θ este unghiul dintre axa verticală și longitudinală a diagonalei echivalente;

α este unghiul de înclinare a câmpului de tensiuni din panou, măsurat față de verticală, poate fi luat 40° , sau poate fi calculat cu expresia (6.36):

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w \cdot L}{2 \cdot A_c}}{1 + t_w \cdot h \cdot \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360 \cdot I_c \cdot L} \right)} \quad \text{Ec. (6.35)}$$

unde

I_c este momentul de inerție al stâlpului;

t_w este grosimea panoului de forfecare;

A_c este aria secțiunii stâlpului;

A_b este aria secțiunii grinzii;

I_c este momentul de inerție al elementului de bordare vertical, poate fi luat ca media dintre cele două elemente de bordare verticale.

(2) Rezistența plastică la forfecare a panourilor se calculează cu expresia (6.37):

$$V_n = 0.42 F_y t_w L_{cf} \sin 2\alpha \quad \text{Ec. (6.36)}$$

unde

L_{cf} este distanța liberă dintre tălpile elementelor de bordare verticale;

F_y este limita de curgere a oțelului din panourile de forfecare;

6.12.5 Îmbinările dintre elementele de bordare orizontale și verticale

(1) P Rezistența plastică a elementului disipativ conectat, R_d , este calculată conform **6.5.5**, și trebuie să țină cont de efortul maxim dezvoltat de câmpul de tensiuni diagonal din panouri.

6.12.6 Îmbinarea panou de forfecare - elemente de bordare

(1) P Rezistența necesară a îmbinării panourilor de forfecare cu elementele de bordare trebuie să fie egală cu rezistența de curgere, la întindere, a panoului.

(2) Se pot folosi două detalii tipice ale îmbinărilor dintre panouri și elementele de bordare, vezi Figura 6.16.

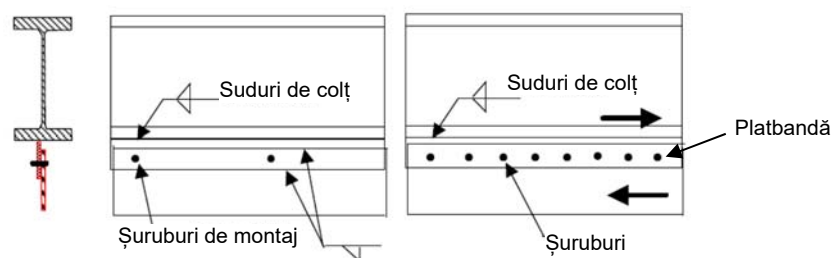


Figura 6.16: Îmbinare panou de forfecare – elemente de bordare

(3)P Îmbinarea sudată trebuie să fie proiectată astfel încât platbanda și sudurile să dezvolte rezistența la forfecare a panoului.

(4) În cazul în care capacitatea de recentrare este de interes, se recomandă îmbinări cu șuruburi. Șuruburile trebuie să fie de înaltă rezistență pretensionate și să poată dezvolta rezistența la forfecare a panoului.

(5) Este de așteptat ca în timpul încărcării ciclice a panourilor de forfecare, șuruburile să alunece înainte de curgerea câmpului de tensiuni. Deci, trebuie verificată rezistența la forfecare și la presiune pe gaură, conform EN 1993-1-8.

(6) În cazul unor panouri foarte subțiri, se pot folosi platbande adiționale pentru a crește rezistența panoului la forfecare și presiune pe gaură.

6.13 Capacitatea de re-centrare a cadrelor duale din oțel

(1)P Capacitatea de re-centrare a configurațiilor duale trebuie verificată prin prevenirea curgerii în cadrele necontravântuite până la atingerea capacității ultime de deformare în cadrele disipative. Acest lucru se poate obține prin menținerea deplasări ultime în cadrele disipative (la starea limită ultimă) mai mică decât deplasarea la curgere a cadrelor elastice (cadrele necontravântuite):

$$\delta^{DIS} < \delta^{MRF} \quad \text{Ec. (6.37)}$$

unde

δ_u^{DIS} este deplasarea ultimă a cadrelor disipative la starea limită ultimă;

δ_y^{MRF} este deplasarea la curgere a cadrelor necontravântuite;

6.13.2 Capacitatea de re-centrare a cadrelor duale din oțel cu panouri de forfecare demontabile

(1) Se recomandă analize neliniare statice și/sau dinamice pentru toate structurile în vederea verificării capacității de re-centrare.

6.13.2.1 Modelarea panoului de forfecare pentru analiza statică liniară (pushover)

(1) Panourile de forfecare pot fi reprezentate de minim 10 bare întinse, dublu-articulate, înclinate la un unghi α față de verticală, și orientate în aceeași direcție ca și tensiuni principale de întindere în panou (model cu bare echivalente), a se vedea Figura 6.17. Tabelele 6.4 și 6.5 prezintă punctele caracteristice care definesc proprietățile barelor.

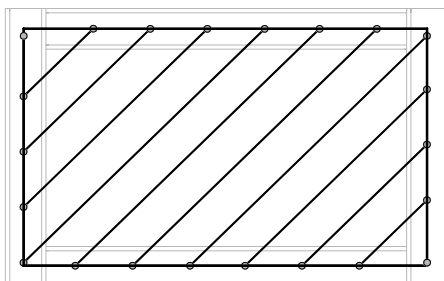


Figura 6.17: Modelul cu bare echivalente pentru analiza statică neliniară

Tabelul 6.4: Proprietățile neliniare ale barelor întinse

Articulație	A	B	C	D	E
P/P_y	0	0.8	1.4	1.4	1.2
Δ/Δ_y	0	0	14	20	27

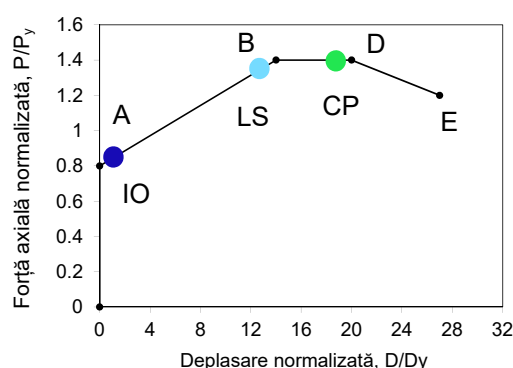


Figura 6.18: Proprietățile neliniare ale barelor întinse

Tabelul 6.5: Criterii de acceptare

Criterii	SLS	ULS	CPLS
Δ / Δ_y	0.5	13	19

(2) Aria barelor echivalente poate fi calculată folosind expresia 6.38:

$$A_s = (L \cdot \sin \alpha + h \cdot \cos \alpha) / n \quad \text{Ec. (6.38)}$$

unde

n este numărul de bare per panou;

6.13.2.2 Modelarea panoului de forfecare pentru analiza neliniară dinamică

(1) Panoul poate fi înlocuit cu minim 10 bare în ambele direcții (model cu bare duale), având proprietățile descrise în par. **6.13.1.1**, vezi Figura 6.19.

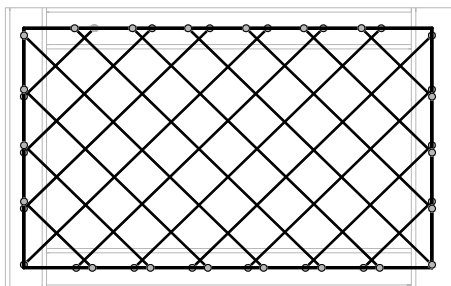


Figura 6.19: Modelul cu bare pentru analiza neliniară dinamică

9 CADRE CU CONTRAVÂNTUIRI MODIFICATE (CBF-MB)

9.1 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.1 TIPURI DE STRUCTURI

(1) Cadrela cu contravântuiri modificate (CBF-MB) sunt acelea care îndeplinesc următoarele cerințe:

- Diagonalele sunt intersectate de o grindă intermediară (Figura 6.10);
- Fiecare diagonală conține o secțiune transversală variabilă H sudată (Figura 6.11);
- Îmbinările contravântuirilor cu stâlpul sunt articulate, în timp ce nodul grindă intermediară - stâlp este rigid;
- Îmbinările dintre grindă și stâlpi pot fi articulate sau semi-rigide.

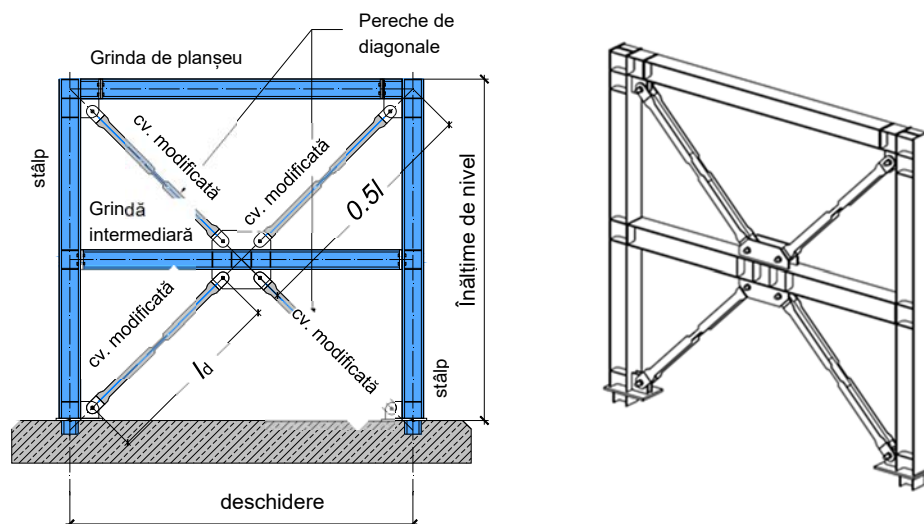
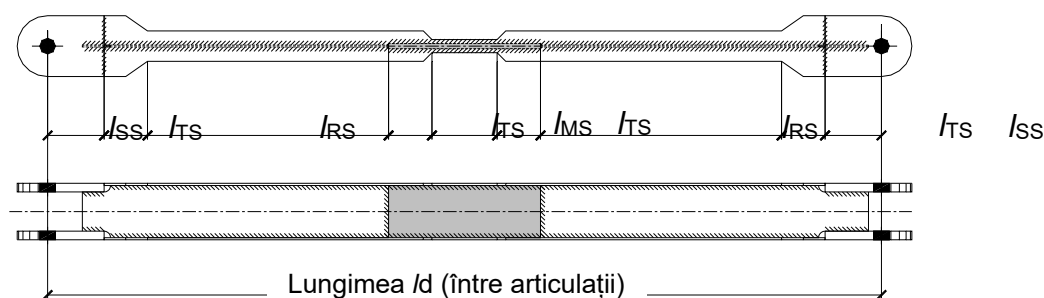


Figura 6.10: Sistemul CBF-MB



Legendă:

MS – secțiune modificată

SS – secțiune tare

RS – secțiune redusă

TS – secțiune de tranziție

l – lungimea secțiunii (ex. l_{RS} – lungimea secțiunii reduse)

Figura 6.11: Vedere generală a unei contravântuiri modificate

(3) În CBF-MB, zonele disipative trebuie să fie situate în principal în diagonale. CBF-MB aparține următoarelor categorii:

– contravântuiri diagonale întinse active, în care forțele orizontale pot fi preluate doar de diagonalele întinse, neglijând diagonalele comprimate. Punctul de intersecție al acestor diagonale se află pe o grindă intermediară care trebuie să fie continuă.

(7) În CBF-MB zonele disipative sunt situate în diagonale. Acestea ar trebui să fie proiectate astfel încât să separe zonele care curg la întindere de cele în care se produc deformări plastice de compresiune post-flambaj. Criteriile de proiectare enumerate în par. 6.5.2 pentru zonele disipative se aplică pentru contravântuirile modificate.

9.2 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.3.2, FACTORI DE COMPORTARE

Tabelul 6.2: Limita superioară a valorilor de referință ale factorilor de comportare pentru sisteme regulate pe înălțime

Tip de structură	Clasă de ductilitate	
	DCM	DCH
CBF-MB	4.0	5.0
Condiția conform 6.12.4	$\rho = 1.00$	$\rho = 1.15$

9.3 PREVEDERI ADIȚIONALE LA PAR. 6.12 (NOU) REGULI DE PROIECTARE ȘI DETALIERE PENTRU CADRE CU CONTRAVÂNTUIRI MODIFICATE (CBF-MB)

6.12.1 Analiza

Analiza multimodală elastică poate fi efectuată pe baza 6.7.2 (1) și (2) cu următoarele cerințe specifice.

Contravântuirile modificate trebuie să fie definite de secțiunea constantă H cu caracteristicile RS și prinsă de cadru prin îmbinare articulată. Stâlpii ar trebui să fie continui de-a lungul tuturor etajelor. Îmbinările dintre stâlpi și grinda de planșeu și bazele stâlpilor pot fi modelate ca articulate sau semi-rigide. Interpretarea generală este prezentată în Figura 6.15.

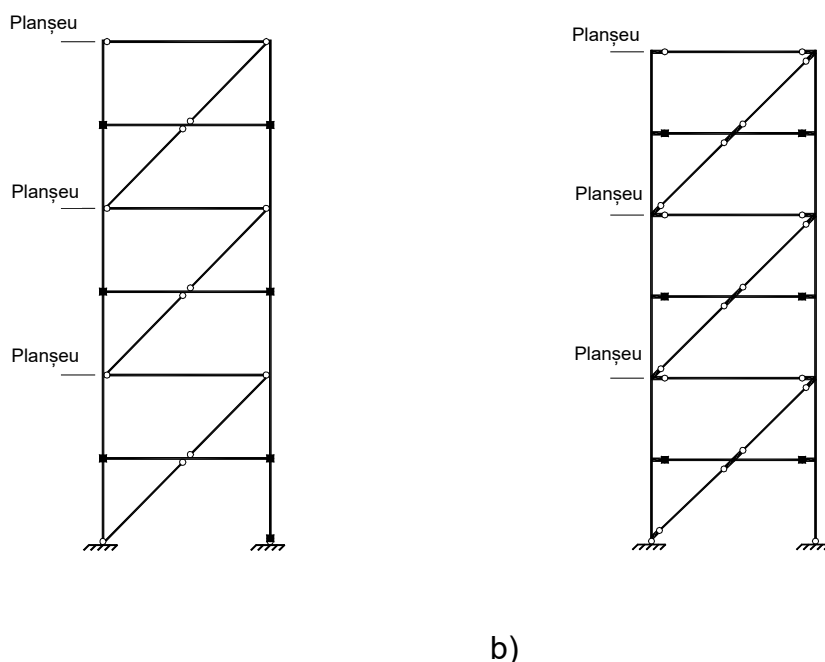


Figura 6.15: a) Modelul inter-ax pentru analiza elastică; b) Modelul cu Legături Rigide.

6.12.2 Proiectarea contravântuirilor modificate

- Lungimea MS, RS și TS (Figura 6.11)

Lungimea l_d a contravântuirii modificate trebuie să fie $(0,375-0,4)l$, unde l este lungimea diagonalei sistemului.

Lungimea secțiunii modificate l_{MS} ar trebui să fie definită de Ec. 6.32. Lungimea secțiunii reduse (RS) l_{RS} trebuie proiectată cât mai mare posibil, permițând lungimea necesară a secțiunii de tranziție lină (TS) de la RS la secțiunea tare (SS). Estimările preliminare pot fi făcute cu Ec. 6.33.

$$l_{MS} = (0.067 \div 0.085) \cdot l_d \quad \text{Ec. (6.32)}$$

$$l_{RS} \approx (0.3) \cdot l_d \quad \text{Ec. (6.33)}$$

- Raportul ariilor

Aria RS trebuie să îndeplinească 6.7.3 (5). În plus, trebuie îndeplinită următoarea condiție:

$$A_{MS}/A_{RS} \geq 1.4 \quad \text{Ec. (6.34)}$$

Unde:

A_{MS} este aria secțiunii modificate,

A_{RS} este aria secțiunii reduse.

Dimensiunile și aria secțiunii tari (SS) ar trebui alese pentru a asigura un răspuns complet elastic în secțiunea netă pentru îmbinarea articulată și pentru a îndeplini verificările portante ale șuruburilor

- Raportul modulelor de rezistență

Pentru a asigura că secțiunea modificată are o capacitate de încovoiere mai mică decât secțiunea redusă, inclusiv în stadiul deformațiilor plastice mari și consolidării, condiția (6.35) trebuie îndeplinită:

$$W_{pl,RS} / W_{pl,MS} \geq 2.0 \quad \text{Ec. (6.35)}$$

Unde:

$W_{pl,RS}$ este modulul plastic de rezistență al secțiunii reduse,

$W_{pl,MS}$ este modulul plastic de rezistență al secțiunii modificate.

- Lungimea de flambaj a contravântuirii modificate

Deoarece la mijlocul lungimii se află secțiunea modificată, lungimea reală de flambaj $l_{cr} = \mu \cdot l_d$ va fi mai lungă decât l_d . Lungimea efectivă a l_{cr} poate fi obținută prin analiza elastică de flambaj cu elemente finite (FE) sau prin Ec. 6,36,

$$\mu = l_{cr} / l_d = 0.88 \cdot K_L^{(0.033)} \cdot K_I^{(0.1 \ln(K_L) - 0.36)} \quad \text{Ec. (6.36)}$$

Unde:

$K_L = l_{RS} / l_{MS}$ raportul lungimii secțiunii,

l_{MS} este lungimea secțiunii modificate,

l_{RS} este lungimea secțiunii reduse,

$K_I = I_{MS} / I_{RS}$ este raportul momentelor de inerție,

I_{MS} este momentul de inerție al secțiunii modificate,

I_{RS} este momentul de inerție al secțiunii reduse,

μ este parametrul lungimii de flambaj.

- Limitarea zvelteții

Zveltețea adimensională a contravântuirii modificate trebuie calculată pe baza lungimii de flambaj și trebuie să fie în conformitate cu 6.7.3 (1).

- Rezistența la curgere a contravântuirii modificate

Rezistența la curgere $N_{pl,Rd}$ a contravântuirii modificate trebuie să urmeze 6.7.3 (5) și trebuie obținută prin Ec. 6.37.

$$N_{pl,Rd} = A_{RS} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{Ec. (6.37)}$$

- Îmbinările contravântuirii modificate

Îmbinările contravântuirilor modificate cu grinzile de planșeu și grinzile intermediare ar trebui să respecte regulile de proiectare din 6.5.5 (3).

6.12.3 Proiectarea grinzii intermediare

Formarea a două tipuri de mecanisme plastice de nivel este posibilă în CBF-MB denumite favorabil și nefavorabil (Figura 6.16). Mecanismul favorabil este atunci când ambele diagonale comprimate dintr-o pereche flambează și alungirile plastice se află în perechea de diagonalele întinse (Figura 6.16a). Cel nefavorabil este atunci când numai o diagonală din perechea de diagonale comprimate flambează și apar articulații plastice suplimentare în grinda intermediară sau chiar în stâlpi (Figura 6.16b,c). Mecanismele nefavorabile trebuie să fie evitate printr-o proiectare corectă a grinzii intermediare, asigurând o rezistență și rigiditate la încovoiere suficiente.

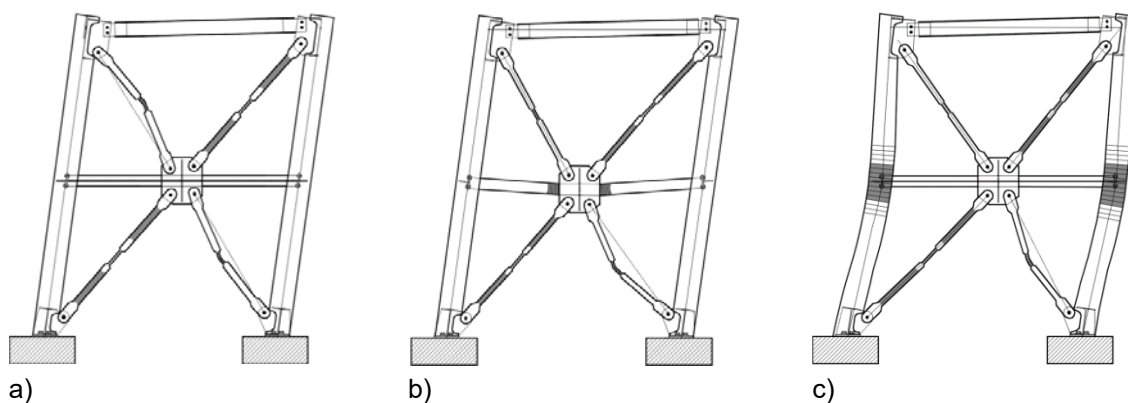


Figura 6.16: Mecanisme plastice: a) Favorabil; b) Grindă intermediară slabă; c) Stâlpi slabi

CBF-MB trebuie să fie proiectate cu grinzile intermediare prinse pe stâlpi, formând astfel un cadru în formă de H. Grinda intermediară și stâlpii sunt elemente nedisipative și ar trebui să rămână elastice până la atingerea ULS (degradare semnificativă).

- Etapa de tranziție

Etapa în care cadrul în formă de H asigură o rigiditate elastică suficientă și, astfel, forțează diagonala neflambată să flambeze, este ilustrată în Figura 6.17 și este

denumită etapă de tranziție ("chiar înainte de flambaj"). În această etapă apar forțele orizontale și verticale dezechilibrate. Acestea pot fi determinate prin ecuațiile (6.38) și (6.39), unde $N_{b,Rd}$ (Ecuația (6.40)) reprezintă rezistența la flambaj a contravântuirii conform EN 1993-1-1.

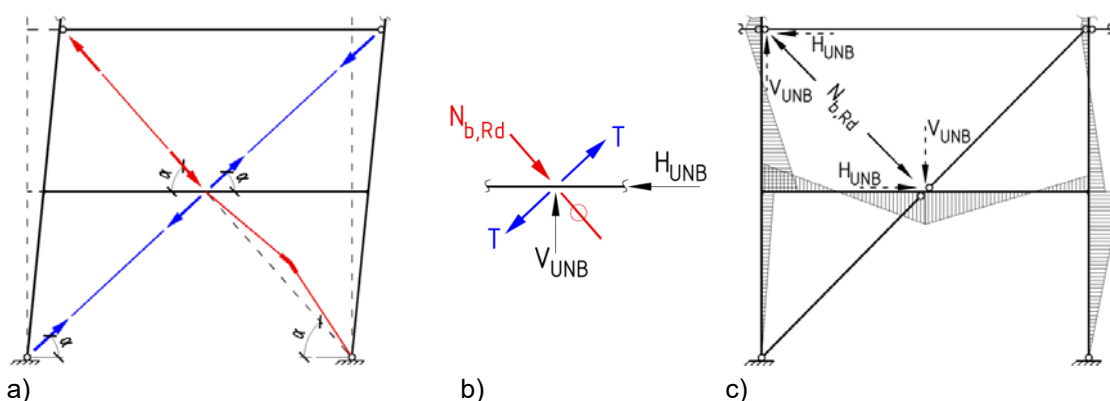


Figura 6.17: a) Etapa de tranziție; b) Forțele dezechilibrate; c) Momentele de inerție (M_{UNB}) rezultate din forțele dezechilibrate (cazul de încărcare UNB)

$$V_{UNB} = N_{b,Rd} \cdot \sin \alpha \quad \text{Ec. (6.38)}$$

$$H_{UNB} = N_{b,Rd} \cdot \cos \alpha \quad \text{Ec. (6.39)}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{RS} \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad \text{Ec. (6.40)}$$

Etapa de tranziție se caracterizează prin momente încovoietoare și forțe axiale suplimentare (caz de încărcare UNB) care apar în interiorul cadrului H - Figura 6.17c). Acest efect trebuie luat în considerare în proiectare. Acesta poate fi simulat în modelul pentru analiza elastică prin introducerea forțelor dezechilibrate separat pentru fiecare nivel, așa cum se arată în Figura 6.17c) sau integral la toate nivelurile simultan.

- Cerințe suplimentare pentru grinda intermediară

Grinda intermediară trebuie să fie proiectată astfel încât să se evite flambajul prin încovoiere-răsucire prin satisfacerea Ec. 6.41.

$$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.40 \quad \text{Ec. (6.41)}$$

Secțiunile transversale ale grinzii intermediare trebuie alese astfel încât să satisfacă Ec. 6.42 în conformitate cu 4.4.2.3 (4).

$$2.M_{Rc} \geq 1.3 \cdot M_{Rb} \quad \text{Ec. (6.42)}$$

Unde:

M_{Rc} este rezistența de proiectare la încovoiere relevantă a stâlpului ($M_{y,Rd}$ sau $M_{z,Rd}$) pe care se prinde grinda intermediară,

M_{Rb} este rezistența de proiectare la încovoiere a grinzii intermediare.

6.12.4 Proiectarea elementelor nedisipative

Elementele nedisipative ale CBF-MB sunt stâlpii, grinzile de planșeu și grinzile intermediare.

Acestea ar trebui să fie proiectate luând în considerare forțele interioare din încărcările gravitaționale în situația de proiectare seismică și forțe interioare, incluzând efectele de ordinul doi M_E , V_E și N_E din cazul de încărcare seismică. Primele trebuie obținute din analiza elastică pe modelul diagonalei întinse și corectate cu multiplicatorul de capacitate $1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega_{MIN} \cdot \rho$.

Unde:

γ_{ov} este factorul supra-rezistenței de material conform 6.2 (3),

$\Omega_{MIN} = \min \left\{ \frac{N_{pl,Rd,i}}{N_{Ed,i}} \right\}$ este factorul supra-rezistenței minime pentru contravântuirile

modificate pe înălțimea clădirii și

ρ este factorul care ține cont de supra-rezistența disponibilă a sistemului și de rezistența reală la flambaj a contravântuirii, posibil mai mare. Valoarea ρ depinde de clasa de ductilitate adoptată (Tabelul 6.2).

Proiectarea elementelor nedisipative trebuie să ia în considerare forțele interioare suplimentare M_{UNB} , V_{UNB} și N_{UNB} determinate de forțele dezechilibrate, formate în etapa de tranziție (6.12.3).

- Stâlpii

Se verifică stâlpii pentru a îndeplini ecuația (6.42) și pentru a prelua forțele de proiectare obținute prin Ecuațiile (6.43) - (6.45):

$$N_{col,Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.43)}$$

$$M_{col,Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.44)}$$

$$V_{col,Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.45)}$$

- Grinzile intermediare

Grinzile intermediare se verifică pentru a îndeplini Ec. (6.41) și Ec. (6.42) și pentru a prelua forțele de proiectare obținute prin Ecuațiile (6.46) - (6.48):

$$N_{sb,Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.46)}$$

$$M_{sb,Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.47)}$$

$$V_{sb,Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.48)}$$

- Grinzile de planșeu

Grinzile de planșeu se verifică pentru a prelua forțele de proiectare obținute prin Ecuațiile (6.49) - (6.51):

$$N_{b,Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.49)}$$

$$M_{b,Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.50)}$$

$$V_{b,Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB}) \quad \text{Ec. (6.51)}$$

6.12.5 Modelarea contravîntuirilor modificate pentru analiza statică neliniară (pushover)

Ar trebui folosit modelul structural cu legături rigide conform Figurii 6.15. Distribuția forțelor laterale trebuie să fie conformă cu 4.3.3.4.2.2. Proprietățile articulațiilor plastice ale MB sunt plasate la mijlocul fiecărei contravîntuiri modificate, iar curbele de comportare sunt ilustrate în Figura 6.18, în timp ce valorile parametrilor sunt date în Tabelul 6.4.

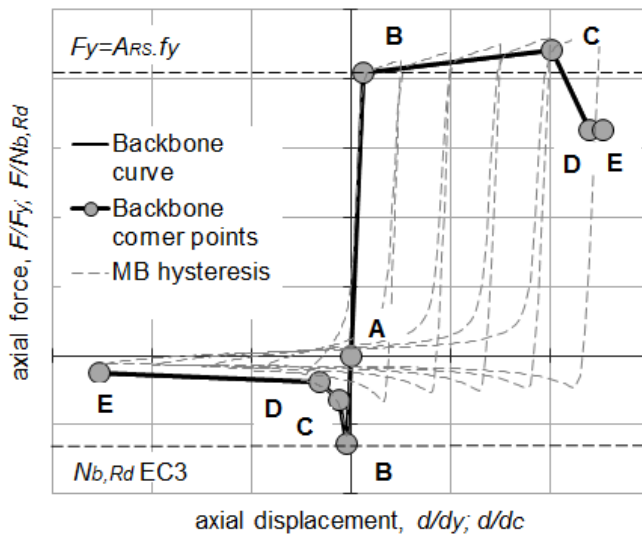


Figura 6.18: Curba de comportare MB pentru analiza statică neliniară

Tabelul 6.4: Punctele caracteristice ale curbei de comportare

Punctul	Întindere		Punctul	Compresiune	
	Forță	Deplasare		Forță	Deplasare
A	0	0	A	0	0
B	$F_y = A_{RS} \cdot f_y$	δ_y	B	$N_{b,Rd}$	δ_c
C	F_{SH}	$16.5\delta_y$	C	$0,5N_{b,Rd}$	$3\delta_c$
D	$0,8F_y$	$19\delta_y$	D	$0,3N_{b,Rd}$	$8\delta_c$
E	$0,8F_y$	$20\delta_y$	E	$0,2N_{b,Rd}$	$20\delta_y$

Următoarele ecuații (6.52) - (6.56) trebuie utilizate pentru definirea punctelor caracteristice. $N_{b,Rd}$ reprezintă rezistența la flambaj a contravântuirii și χ este factorul de reducere la flambaj conform EN 1993-1-1.

$$\delta_y = f_y \cdot I / E \quad \text{Ec. (6.52)}$$

$$F_y = A_{RS} \cdot f_y \quad \text{Ec. (6.53)}$$

$$F_{SH} = F_y + (F_y / \delta_y \cdot 0.005) \cdot (16.5 \cdot \delta_y) \quad \text{Ec. (6.54)}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{RS} \cdot f_y \quad \text{Ec. (6.55)}$$

$$\delta_c = N_{b,Rd} \cdot \delta_y / F_y \quad \text{Ec. (6.56)}$$

Tabelul 6.5 prezintă capacitățile de deformare axială ale contravântuirilor modificate la compresiune și întindere la cele trei stări limită considerate care sunt marcate în Figura 6.19.

Tabelul 6.5: Capacitățile de deformare axială ale contravântuirilor modificate la compresiune și întindere

Stările limită EN 1998-1	SLS	SLU	
Stare limită	DL (limitarea degradărilor)	SD (degradare semnificativă)	NC (prevenirea prăbușirii)
δ / δ_y (Întindere)	+2.5	+9.5	+16
δ / δ_c (Compresiune)	-2.5 δ_y	-9.5 δ_y	-16 δ_y

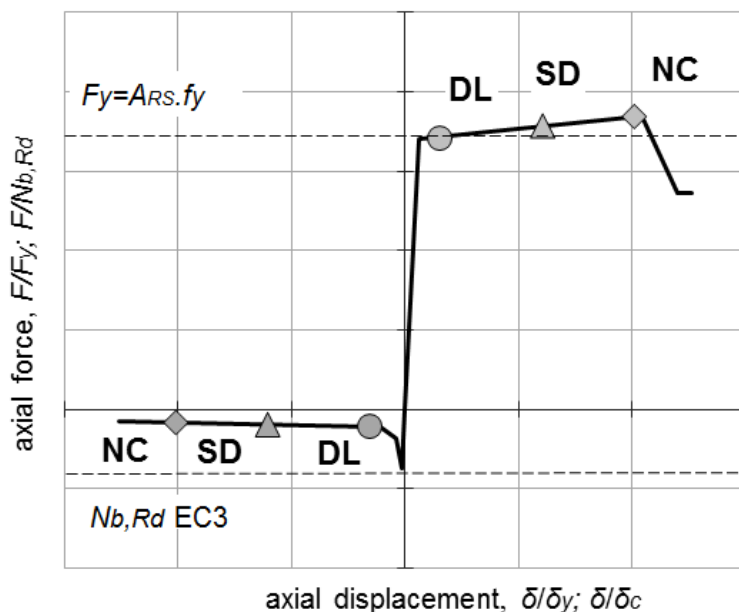


Figura 6.19: Stările limită pentru contravântuirile modificate

6.12.6 Modelarea contravântuirilor modificate pentru analiza dinamică neliniară

În analiza dinamică neliniară (NDA), MB ar trebui modelate prin elemente de legătură plastice multi-liniare cu histereză de tip pivot. Elementul de legătură trebuie prins de legătura rigidă a diagonalei - Figura 6.20a). Legătura neliniară trebuie să fie constituită din parametrii α_1 , α_2 , β_1 și β_2 , prezentați în Tabelul 6.6 și în Figura 6.20a). Valoarea α_1 identifică punctul pivot de scalare pentru descărcare la zero de la forța pozitivă, α_2 localizează punctul de descărcare la zero de la o forță negativă, β_1 localizează punctul pivot pentru încărcarea inversă de la zero spre forța pozitivă și β_2 localizează punctul pivot pentru încărcarea inversă de la zero spre forța negativă. Comportamentul legăturii neliniare trebuie definit numai pentru gradul de libertate de pe direcția alungirii/scurtării axiale, în timp ce gradele de libertate rămase trebuie modelate ca fiind liniare.

Tabelul 6.6: Descrierea punctelor pivot

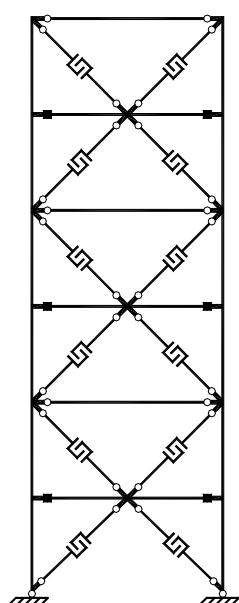
Parametrul punctului pivot	α_1	α_2	β_1	β_2	η
Valoare	100	0.1	0.02	0.4	0.0

Pentru definirea corectă a comportamentului histeretic, legătura plastică multi-liniară necesită definirea curbei de comportare. Tabelul 6.7 rezumă punctele caracteristice ale curbei de comportare. Figura 6.20b reprezintă curba de comportare în care se adoptă o degradare a rezistenței ciclice de până la 15%.

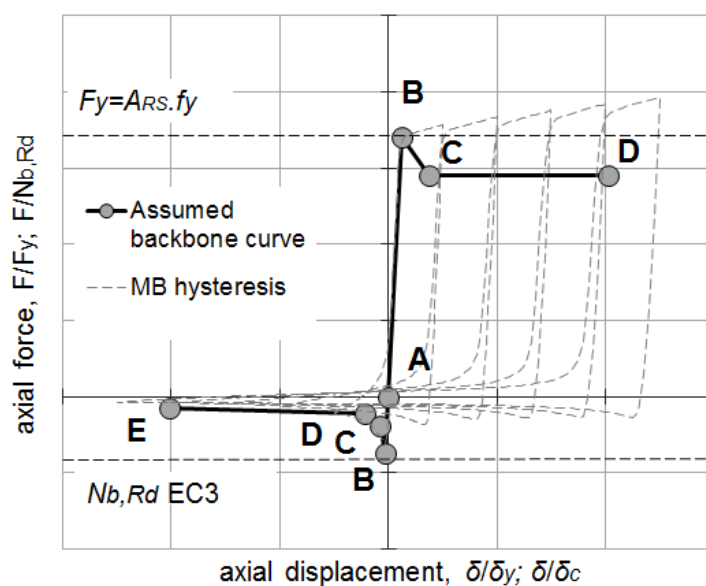
Tabelul 6.7: Punctele caracteristice ale curbei de comportare

Punctul	Întindere		Punctul	Compresiune	
	Forță	Deplasare			Forță
A	0	0	A	0	0
B	$F_y = A_{RS} \cdot f_y$	δ_y	B	$N_{b,Rd}$	δ_c
C	$0,85F_y$	$3\delta_y$	C	$0,5N_{b,Rd}$	$3\delta_c$
D	$0,85F_y$	$16,5\delta_y$	D	$0,3N_{b,Rd}$	$8\delta_c$
			E	$0,2N_{b,Rd}$	$16,5\delta_y$

Forțele axiale și deplasările reprezentative sunt definite după ecuațiile (6.52) - (6.56). $N_{b,Rd}$ reprezintă rezistența la flambaj a contravântuirii conform EN 1993-1-1.



a)



b)

Figura 6.20: Modelul CBF-MB pentru NDA: a) Legătura Plastică Multi-Liniară; b) Curba de comportare

6.12.7 Verificările la oboseală oligo-ciclică

Atunci când se efectuează o analiză ciclică neliniară, se examinează deteriorarea acumulată în contravântuirile modificate datorită oboselii oligo-ciclice. Relația reprezentativă dintre amplitudinea deformației axiale a MB, δ , corespunzătoare numărului de cicluri până la cedare, N este dată de Ec. 6.57.

$$\delta(N) = 110 - 52 \cdot \log(N)$$

Ec. (6.57)

Indicele daunelor D poate fi determinat de legea Palmgren - Miner a acumulării daunelor, Ec. 6,58, după cum urmează:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad \text{Ec. (6.58)}$$

Unde:

n_i este numărul de cicluri cu aceeași amplitudine a deformației axiale δ_i ,

N_i este numărul de cicluri după care apare cedarea în cazul unei amplitudini constante a deformației axiale și

i este numărul total de cicluri de amplitudine constantă.