

---

## Studiul avansat al cadrelor contravântuite excentric cu capacitate de re-centrare: tipologii noi de linkuri și influența plăcii din beton armat (ARNIS)

---

Cod proiect: N-III-P1-1.1-PD-2016-1655  
Contractul de finanțare nr. PD 139 / 2018

*Livrabil D1*  
*Proiectarea structurilor prototip și descrierea procedurii numerice de înlocuire a*  
*linkurilor*

# Cuprins

<b>1</b>	<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIEREA CADRELOR STUDIATE.....</b>	<b>4</b>
2.1	IPOTEZE ȘI GEOMETRIE.....	4
2.2	MODELAREA PENTRU ANALIZA LINIARĂ ELASTICĂ.....	5
<b>3</b>	<b>COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI ÎN SITUAȚIA SEISMICĂ DE PROIECTARE.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>PROIECTAREA ANTI-SEISMICĂ A CADRELOR P+2E_F.....</b>	<b>7</b>
4.1	ANALIZA STRUCTURALĂ.....	7
4.1.1	<i>Imperfecțiuni globale</i> .....	7
4.1.2	<i>Efectele de ordinul doi</i> .....	7
4.1.3	<i>Caracteristicile dinamice</i> .....	8
4.1.4	<i>Analiza spectrală</i> .....	8
4.2	ELEMENTELE DISIPATIVE.....	8
4.3	CONFIGURAȚIA DUALĂ.....	9
4.4	SUPRA-REZISTENȚA STRUCTURALĂ.....	9
4.5	ELEMENTELE NEDISIPATIVE.....	9
4.6	LIMITAREA DRIFTURILOR DE NIVEL.....	10
4.7	“STĂLP TARE-GRINDĂ SLABĂ”.....	10
4.8	ANALIZA STATICĂ NELINIARĂ.....	10
<b>5</b>	<b>PROIECTAREA ANTI-SEISMICĂ A CADRELOR P+2E_E.....</b>	<b>11</b>
5.1	ANALIZA STRUCTURALĂ.....	11
5.1.1	<i>Imperfecțiuni globale</i> .....	11
5.1.2	<i>Efectele de ordinul doi</i> .....	11
5.1.3	<i>Caracteristicile dinamice</i> .....	12
5.1.4	<i>Analiza spectrală</i> .....	12
5.2	ELEMENTELE DISIPATIVE.....	12
5.3	CONFIGURAȚIA DUALĂ.....	13
5.4	SUPRA-REZISTENȚA STRUCTURALĂ.....	13
5.5	ELEMENTELE NEDISIPATIVE.....	13
5.6	LIMITAREA DRIFTURILOR DE NIVEL.....	14
5.7	“STĂLP TARE-GRINDĂ SLABĂ”.....	14
5.8	ANALIZA STATICĂ NELINIARĂ.....	14
<b>6</b>	<b>PROIECTAREA ANTI-SEISMICĂ A CADRELOR P+5E_F.....</b>	<b>15</b>
6.1.1	<i>Imperfecțiuni globale</i> .....	15
6.1.2	<i>Efectele de ordinul doi</i> .....	16
6.1.3	<i>Caracteristicile dinamice</i> .....	17
6.1.4	<i>Analiza spectrală</i> .....	17
6.2	ELEMENTELE DISIPATIVE.....	17
6.3	CONFIGURAȚIA DUALĂ.....	18
6.4	SUPRA-REZISTENȚA STRUCTURALĂ.....	18
6.5	ELEMENTELE NEDISIPATIVE.....	19
6.6	LIMITAREA DRIFTURILOR DE NIVEL.....	19
6.7	“STĂLP TARE-GRINDĂ SLABĂ”.....	19
6.8	ANALIZA STATICĂ NELINIARĂ.....	20
<b>7</b>	<b>PROIECTAREA ANTI-SEISMICĂ A CADRELOR P+5E_E.....</b>	<b>21</b>
7.1.1	<i>Imperfecțiuni globale</i> .....	21
7.1.2	<i>Efectele de ordinul doi</i> .....	22
7.1.3	<i>Caracteristicile dinamice</i> .....	22
7.1.4	<i>Analiza spectrală</i> .....	22

7.2	ELEMENTELE DISIPATIVE .....	23
7.3	CONFIGURAȚIA DUALĂ .....	23
7.4	SUPRA-REZISTENȚA STRUCTURALĂ .....	24
7.5	ELEMENTELE NEDISIPATIVE .....	24
7.6	LIMITAREA DRIFTURILOR DE NIVEL .....	25
7.7	“STÂLP TARE-GRINDĂ SLABĂ” .....	25
7.8	ANALIZA STATICĂ NELINIARĂ .....	25
<b>8</b>	<b>ELIMINAREA BARELOR DISIPATIVE SI RECENTRAREA CADRELOR .....</b>	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUZII .....</b>	<b>28</b>
	<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>28</b>

## 1 Introducere

Omenirea este tot mai preocupată în ultima vreme de numărul mare de pierderi umane și materiale care pot apărea în urma unor cutremure. Astfel, inginerii structuriști fac eforturi pentru a găsi soluții care să asigure siguranța, fără a atrage costuri mari. Cadrele contravântuite excentric reprezintă soluția care asigură echilibru între rigiditate și ductilitate structurală. Pentru a reduce costurile și timpul de nefuncționare al unei clădiri în urma unui cutremur, conceptele de elemente disipative demontabile (oferă capacitate de disipare a energiei și sunt ușor de înlocuit) și capacitate de re-centrare (oferită de cadrele necontravântuite mai flexibile) pot fi implementate într-o structură duală, obținută prin combinarea cadrelor metalice contravântuite excentric (EBF) cu linkuri demontabile, cu cadre necontravântuite (MRF). Au fost deja studiate performanța seismică, capacitatea de re-centrare și fezabilitatea procedurii de înlocuire a linkurilor, pe cadre cu linkuri cu placă de capăt, în cadrul proiectului DUAREM (2014).

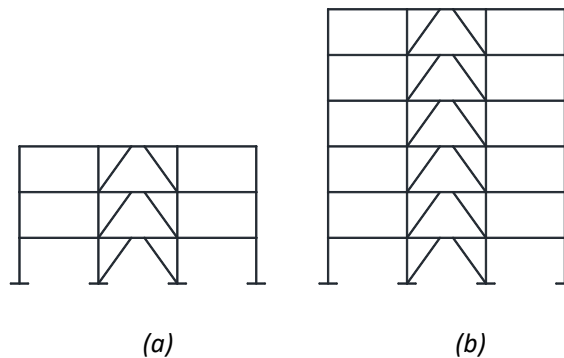


Figura 1. Configurația structurii de înălțime medie (a) și cea mai înaltă (b)

Pentru a obține o abordare mai generală, cercetarea propusă în cadrul proiectului are ca scop extinderea investigațiilor și pe alte tipologii de linkuri, cum ar fi cele cu placă de capăt extinsă. Astfel, în cadrul primei activități a proiectului s-au proiectat și analizat structurile prototip ale proiectului, investigând două nivele de înălțime: o structură cu înălțime medie (P+2E) și una cu înălțime mai mare (P+5E) (a se vedea Figura 1). Fiecare structură a fost proiectată și investigată numeric cu două tipuri de linkuri demontabile: cu placă de capăt (F) și cu placă de capăt extinsă (E) (a se vedea Figura 2).

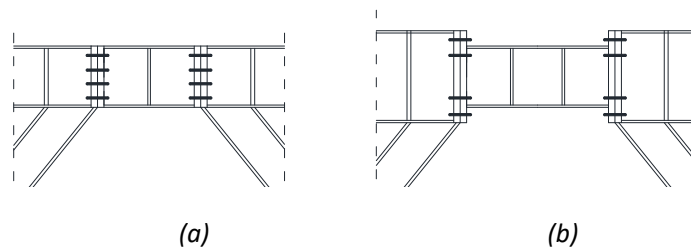


Figura 2. Link cu placă de capăt (a) și link cu placă de capăt extinsă (b)

## 2 Descrierea cadrelor studiate

### 2.1 Ipoteze și geometrie

Planul structurilor prototip este prezentat în Figura 3. Acestea au trei deschideri de 6 m pe o direcție și cinci deschideri de 6 m pe cealaltă direcție. Înălțimea fiecărui nivel este de 3,5 m.

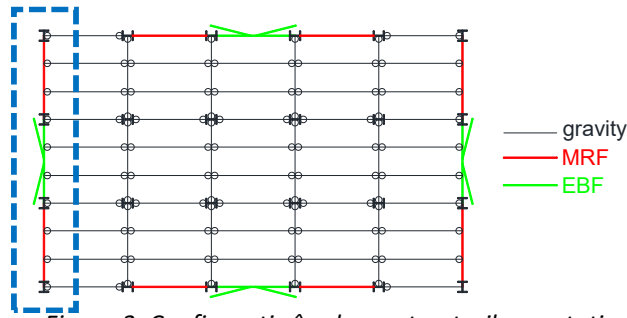


Figura 3. Configurația în plan a structurilor prototip

Sistemul principal de preluare a forțelor laterale este compus din patru cadre necontravântuite și două cadre contravântuite excentric pe fiecare direcție transversală. Cadrele marginale sunt cadre metalice duale, care combină două cadre necontravântuite (care asigură capacitatea necesară de recentrare a structurii, asigurând forțele de revenire după un cutremur) cu un cadru central contravântuit excentric cu bare disipative demontabile prinse cu șuruburi (care sunt destinate să asigure capacitatea de disipare a energiei și să fie ușor de înlocuit) (a se vedea Figura 1). Acestea sunt cadrele plane care vor fi proiectate și analizate în continuare (Figura 3). Toate celelalte cadre sunt sisteme de preluare a încărcărilor gravitaționale.

Grinzile principale, stâlpii și contravântuirile sunt realizate din secțiuni europene I (tip IPE, HEA, HEB și HEM), iar barele disipative detașabile sunt realizate din secțiuni sudate. Materialul utilizat pentru elementele structurale este oțelul S355, cât și oțel de înaltă rezistență S690 în cadrele MRF (folosit pentru a asigura capacitatea de re-centrare).

Încărcările gravitaționale au fost considerate ca încărcări uniforme distribuite pe grinzile secundare și reduse la încărcări concentrate pe cadrele principale. Au fost atribuite încărcări permanente de  $5 \text{ kN/m}^2$  la etajele curente și  $5,5 \text{ kN/m}^2$  pe acoperiș. Încărcarea utilă ține cont de destinația clădirilor (birouri - clasa B) și pereții despărțitori mobili, rezultând  $3,8 \text{ kN/m}^2$  pentru etajele curente și  $3 \text{ kN/m}^2$  pentru acoperiș. Toate încărcările gravitaționale atribuite cadrelor analizate corespund la jumătate din deschidere (3m).

S-a considerat clasa de ductilitate înaltă (DCH). Spectrul de tip 1-C (EN1998, 2004) a fost selectat pentru proiectare, cu o accelerație de vârf a terenului de  $0,3 \text{ g}$  (Figura 4). S-a adoptat un factor de comportare  $q=4$  (Stratan et.al., 2017).

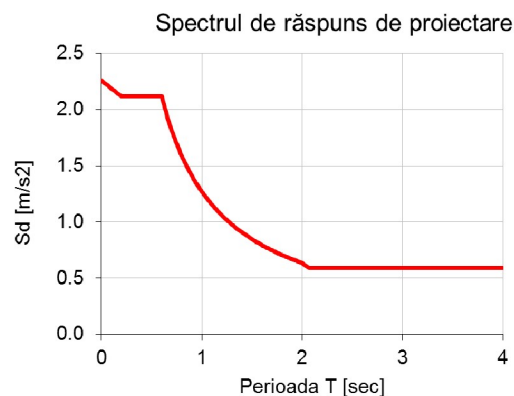


Figura 4. Spectrul de răspuns de tip 1, sol tip C

## 2.2 Modelarea pentru analiza liniară elastică

Modelarea, analiza și proiectarea clădirilor au fost realizate cu ajutorul programului de calcul cu elemente finite SAP2000. Modelul structural a fost un model 2D liniar-elastic.

Diafragme rigide au fost atribuite la fiecare nivel pentru a ține cont de efectul plăcilor din beton armat.

Masele structurale (în tone) considerate de pe jumătate din lungimea totală a structurii (15m) au fost atribuite în nodurile structurale ale cadrelor, deoarece numai cadrele marginale preiau forțe laterale (Figura 5 și Tabelul 1).

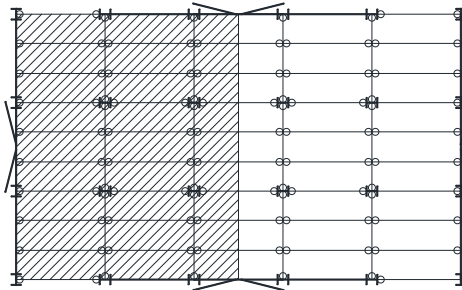


Figura 5. Masele structurale calculate de pe jumătate de structură

Tabelul 1. Calculul maselor structurale.

Etaj	Nod	Masa [t]
Curent	marginal	$m_1 = (5 + 0,24 \times 3,8) \times 3 \times 15 / 9,81 = 27,12t$
	central	$m_2 = (5 + 0,24 \times 3,8) \times 6 \times 15 / 9,81 = 54,24t$
Acoperiș	marginal	$m_3 = (5,5 + 0,3 \times 3) \times 3 \times 15 / 9,81 = 29,36t$
	central	$m_4 = (5,5 + 0,3 \times 3) \times 6 \times 15 / 9,81 = 58,72t$

Un stâlp echivalent a fost modelat pentru a ține cont de încărcările gravitaționale care acționează asupra cadrelor gravitaționale interioare (Figura 6).

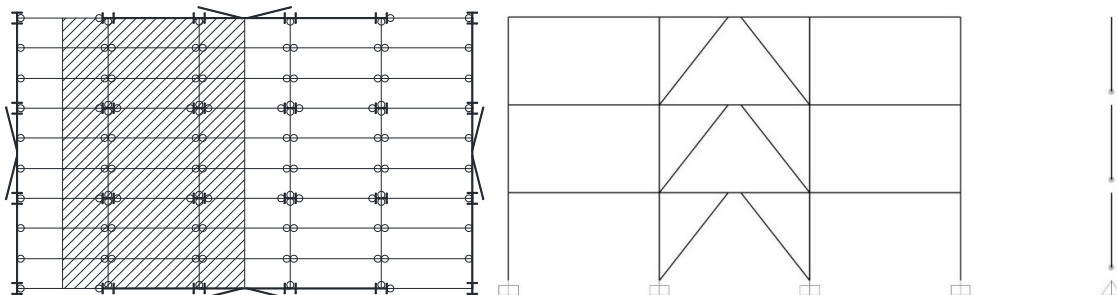


Figura 6. Modelarea stâlpului echivalent

### 3 Combinații de încărcări în situația seismică de proiectare

Combinăția de încărcări folosită pentru verificarea elementelor structurale disipative (grinzile din cadrele MRF și linkurile din cadrele EBF) la Starea Limită Ultimă (SLU), conform EN1990 (2002) este S-DIS:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + A_{Ed}$$

unde

$G_{k,j}$  este încărcarea permanentă;

$Q_{k,i}$  este încărcarea utilă;

$A_{Ed}$  este acțiunea seismică;

$\Psi_{2,i}$  este factorul de combinare pentru încărcarea utilă și destinația clădire de birouri și este 0,3.

Conform 6.6.3 și 6.8.3 din EN 1998-1-1 (2002), combinația de încărcări folosită pentru verificarea elementelor structurale nedisipative (stâlpii, contravântuirile și grinzile EBF) la SLU este S-NDIS:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + \Omega_T A_{Ed}$$

unde

$\Omega_T$  este supra-rezistența sistemului structural.

Conform 4.3.4 și 4.4.3.2 din EN 1998-1-1 (2004), deplasările relative de nivel se pot verifica la Starea Limită de Serviciu (SLS) din combinația de încărcări S-SLS:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + vqA_{Ed}$$

unde

$v$  este factorul de reducere care ia în considerare cea mai mică perioadă de revenire a acțiunii seismice asociată cu cerința de limitare a degradărilor și se consideră 0.5.

Conform 4.3.4. și 4.4.2.2 din EN 1998-1-1 (2004), deplasările relative de nivel folosite pentru a verifica importanța efectelor de ordinul doi se obțin din combinația de încărcări S-DRIFT:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + qA_{Ed}$$

## 4 Proiectarea anti-seismică a cadrelor P+2E\_F

### 4.1 Analiza structurală

#### 4.1.1 Imperfecțiuni globale

Pentru a determina dacă imperfecțiunile trebuie luate în considerare în calculul global se face verificarea conform 5.3.2(4) din EN 1993-1-1 (2004) și este ilustrată în Tabelul 2.

Tabelul 2. Considerarea imperfecțiunilor.

Etaj	$H_{Ed}$	$V_{Ed}$	$0,15V_{Ed}$	$H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed}$
1	909.41	5298.84	794.83	Da
2	771.33	3543.29	531.49	Da
3	495.27	1789.46	268.42	Da

Condiția este îndeplinită, așadar imperfecțiunile nu au fost modelate în calculul structural.

#### 4.1.2 Efectele de ordinul doi

Importanța efectelor de ordinul doi este dată de coeficientul de sensibilitate al deplasărilor relative de nivel,  $\theta$ , determinat conform 4.4.2.2(2) din EN 1998-1-1 (2004):

$$\theta = \frac{P_{tot} d_r}{V_{tot} h}$$

unde

$P_{tot}$  este încărcarea gravitațională totală la și deasupra etajului considerat în situația seismică de proiectare;

$d_r$  este deplasarea relativă de nivel de calcul, evaluată ca diferența mediei deplasărilor laterale  $d_s$  la partea superioară și inferioară a etajului considerat;

$V_{tot}$  este forța tăietoare de nivel seismică totală;

$h$  este înălțimea de nivel;

Coeficienții  $\theta$  pentru fiecare etaj sunt ilustrați în Tabelul 3. Eforturile au fost obținute din combinația de încărcări S-DIS și deplasările relative de nivel din combinația de încărcări S-DRIFT.

Tabelul 3. Coeficienții  $\theta$ .

Etaj	$P_{tot}$	$V_{tot}$	$d_r$	$\theta$
1	5298.84	909.41	0,0142	0,024
2	3543.29	771.33	0,0187	0,025
3	1789.46	495.27	0,0180	0,019

Deoarece  $\theta < 0.1$ , nu se iau în considerare efectele de ordinul doi.

#### 4.1.3 Caracteristicile dinamice

S-a efectuat o analiză modală folosind SAP2000 și rezultatele sunt prezentate în Tabelul 4. Primele două moduri proprii de vibrație au activat mai mult de 90% din masa totală.

Tabelul 4. Rezultatele analizei modale.

Modul	Perioada [s]	Masa modală [%]	Total [%]
1	0,429	82,8	96,7
2	0,161	13,9	

#### 4.1.4 Analiza spectrală

Pentru proiectarea cadrelor s-a folosit o analiză spectrală, în urma căreia s-a observat următoarea comportare a structurii, observând deformata, diagrama de moment încovoietor și cea de forță tăietoare, din combinația seismică de încărcări S-DIS, ilustrate în Figura 7:

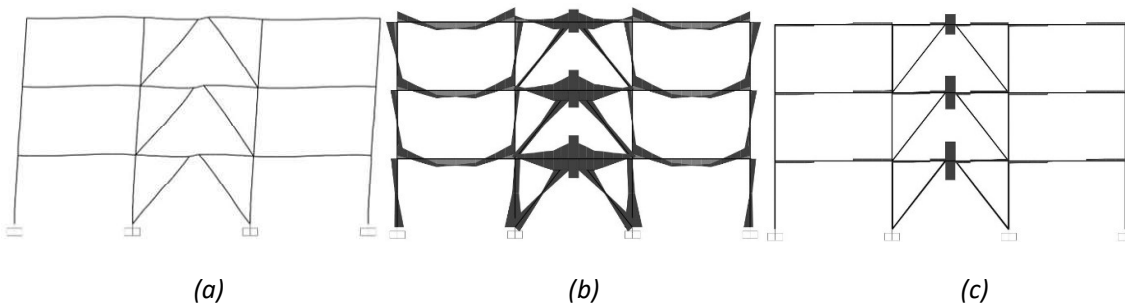


Figura 7. Răspunsul structural: deformata (a), diagrama de moment încovoietor (b) și diagrama de forță tăietoare (c)

#### 4.2 Elementele disipative

Elementele disipative ale cadrului sunt linkurile demontabile cu placă de capăt și grinzile MRF.

Linkurile trebuie concepute pentru a fi detașabile și înlocuibile. Acest obiectiv se poate realiza folosind o îmbinare cu placă de capăt și șuruburi, care trebuie păstrată în domeniul elastic. Înseamnă că îmbinarea trebuie proiectată să preia o forță de forfecare  $V_{j,Ed}$  și un moment încovoietor  $M_{j,Ed}$  de proiectare corespunzătoare unei bare disipative plasticizate și ecrusate, calculate după cum urmează:

$$V_{j,Ed} = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{p,link}$$

$$M_{j,Ed} = \frac{V_{j,Ed} \cdot e}{2}$$

unde  $\gamma_{ov}$  este 1.25 și  $\gamma_{sh}$  este 1.8.

Pentru a obține supra-rezistența îmbinării, au fost adoptate bare disipative foarte scurte (chiar  $e < 0,8 M_{p,link} / V_{p,link}$ ), din combinația S-DIS, rezultând o lungime de 0,5 m. Secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul 5, împreună cu raportul dintre valoarea de calcul a forței tăietoare  $V_{Ed}$  și rezistența la forfecare  $V_{p,link}$ :



Tabelul 5. Linkurile cu placă de capăt.

Etaj	Secțiune	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{p,link}$ [kN]	$V_{Ed}/V_{p,link}$	$M_{p,link}$ [kNm]	$e$ [m]	$0,8 M_{p,link}/V_{p,link}$ [m]
1	330x200x16x9	486	579	0,84	357	0,5	0,49
2	290x190x15x8	426	451	0,94	278	0,5	0,49
3	250x180x14x7	263	339	0,78	211	0,5	0,50

Linkurile au fost modelate în analiza globală ca având o rigiditate echivalentă mai mică (calculată folosind doar 70% din aria de forfecare), pentru a ține cont de semi-rigiditatea îmbinărilor cu șuruburi ale linkurilor.

### 4.3 Configurația duală

Confirmarea configurației duale se face prin verificarea ca structurile MRF să fie capabile să preia cel puțin 25% din forța seismică totală. Așadar, forța de curgere a MRF ( $F_Y^{MRF}=4M_{pl,b}/H$ , where  $M_{pl,b}$  este momentul plastic al grinzii MRF și  $H$  este înălțimea de nivel) ar trebui să fie mai mare decât un sfert din forța seismică totală a cadrului ( $F_Y^{MRF}+F_Y^{EBF}$ , unde  $F_Y^{EBF}=(L/H)V_{p,link}$  și  $L$  este lungimea grinzii) (Stratan et.al., 2010):

Tabelul 6. Verificarea configurației duale.

Etaj	Secțiune grindă	$M_{pl,b}$ [kNm]	$H$ [m]	$F_Y^{MRF}$ [kN]	$L$ [m]	$F_Y^{EBF}$ [kN]	$F_Y^{MRF}/(F_Y^{MRF}+F_Y^{EBF})$
1	IPE330	285	3,5	325,7	6	992,9	0,36
2	IPE330	285	3,5	325,7	6	773,0	0,30
3	IPE330	285	3,5	325,7	6	580,4	0,25

Așadar, grinzile MRF au fost proiectate pentru a respecta criteriul unei configurații duale.

### 4.4 Supra-rezistența structurală

$\Omega$  s-a calculat conform 6.8.3(1) din EN 1998-1-1 (2004) ca minimumul rapoartelor dintre 1.8 din capacitatea la forfecare și forța tăietoare de calcul ( $\Omega_i$ ) pentru toate linkurile și valoarea este prezentată în Tabelul 7. S-a asigurat o comportare disipativă globală a structurii, valorile individuale ale rapoartelor  $\Omega_i$  nu depășesc valoarea minimă a acestora cu mai mult de 25%.  $\Omega_T=\gamma_{ov}\Omega$  înmulțește acțiunea seismică pentru verificarea elementelor nedisipative (unde  $\gamma_{ov}$  este factorul de supra-rezistență a materialului, considerat 1.25 pentru oțel S355).

Tabelul 7. Supra-rezistența sistemului.

Etaj	$\Omega_i$	$\Omega_T = \gamma_{ov}\Omega$
1	2,15	2,38
2	1,91	
3	2,32	

### 4.5 Elementele nedisipative

Elementele nedisipative sunt stâlpii, contravântuirile și grinzile EBF. Acestea sunt proiectate conform 6.8.3 din EN 1998-1-1 (2004), din combinația S-NDIS și secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul 8, împreună cu raportul dintre eforturile de calcul ( $E_d$ ) și rezistențe ( $R_d$ ) (ținând cont de interacțiunea forță axială-moment încovoietor în cazul stîlpilor și grinzilor EBF și doar de forța axială în cazul contravântuirilor), calculate conform 6.3.1 și 6.3.3 din EN 1993-1-1 (2004). Lungimea de flambaj pentru stâlpii de la parter este de 0.7H, și 1H pentru cei de la etajele superioare, și 0.8L pentru contravântuiri.

Tabelul 8. Elementele nedisipative.

Etaj	Secțiune stâlpi centrali	Ed/Rd	Secțiune stâlpi marginali	Ed/Rd	Secțiune contravântuiri	Ed/Rd	Secțiune grinzi EBF	Ed/Rd
1	HE300B	0,594	HE240B	0,283	HE260B	0,794	HE340A	0,514
2	HE300B	0,256	HE240B	0,242	HE240B	0,813	HE300A	0,635
3	HE300B	0,146	HE240B	0,288	HE200B	0,782	HE260A	0,587

#### 4.6 Limitarea drifturilor de nivel

Îndeplinirea cerințelor de serviciu (SLS) se verifică prin compararea deplasărilor relative de nivel obținute din combinația S-SLS cu limita de 0.0075h. Verificarea se poate vedea în Tabelul 9:

Tabelul 9. Limitarea deplasărilor relative de nivel.

Etaj	Deplasare relativă de nivel [mm]	Limita admisă [mm]
1	7,095	26,25
2	9,349	
3	8,978	

#### 4.7 “Stâlp tare-grindă slabă”

Pentru a evita formarea mecanismelor de nivel în cazul clădirilor multietajate, 4.4.2.3(4) din EN 1998-1-1 (2004) menționează că trebuie satisfăcută următoarea condiție pentru toate nodurile grindă-stâlp (mai puțin la ultimul nivel):

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 \sum M_{Rb}$$

unde

$M_{Rc}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale stâlpilor care intră în nod;

$M_{Rb}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale grinzilor care intră în nod;

Verificarea se poate observa în Tabelul 10:

Tabelul 10. Verificarea “stâlp tare-grindă slabă”.

Etaj	Stâlpi centrali [kNm]						Stâlpi marginali [kNm]				
	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$M_{Rb}^{EBF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	v	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	v
1	663	286	657	1326	1226	Ok	374	286	748	372	Ok
2	663	286	491	1326	1010	Ok	374	286	748	372	Ok
3	663	286	327	-	-	-	374	286	-	-	-

#### 4.8 Analiza statică neliniară

Analiza statică neliniară s-a efectuat pentru a verifica capacitatea de recentrare, folosind SAP2000, în control de deplasare, până când se atinge o deplasare monitorizată la vârful structurii. În primul rând, forțele gravitaționale (din combinația de încărcări 1,0·G+0,3·Q) trebuie aplicate în control de forță și, în al doilea rând, forțele laterale, cu o distribuție modală, vor fi aplicate asupra cadrelor analizate în controlul de deplasare.

Proprietățile efective ale materialelor au fost folosite pentru elementele disipative, utilizând  $\gamma_{ov}$ , și a proprietățile nominale ale materialelor pentru elementele nedisipative.

Articulații plastice neliniare de tip moment încovoiator ( $M3$ ) au fost atribuite la capetele grinzilor MRF și de tip interacțiune moment încovoiator-forță axială ( $P-M3$ ) la capetele stâlpilor și grinzilor

EBF. Pentru contravântuiri s-au folosit articulații plastice neliniare de tip axial (P), fiind atribuite la mijlocul barelor. Pentru linkurile scurte s-au definit articulații plastice neliniare de forfecare (V2), fiind atribuite tot la mijlocul barelor, proprietățile acestora fiind calculate conform ASCE/SEI 41-13 (2013).

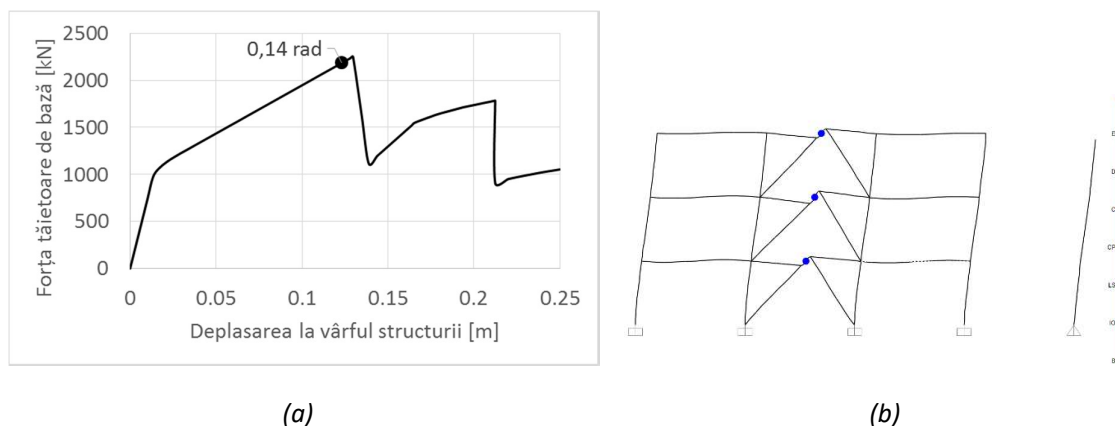


Figura 8. Curba de comportare (a) și starea cadrului la atingerea a 0,14 rad in link (b)

După efectuarea analizei PO pe cadrul proiectat elastic, nu s-a observat curgere în alte elemente structurale înainte de atingerea a 0,14 rad (capacitatea de deformație ultimă la SLU) în barele disipative detașabile (a se vedea Figura 8), cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile fiind îndeplinită. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului până la atingerea deformației ultime din barele disipative (0,14 rad). Atunci când rotirea de vârf a barei disipative atinge 0,14 rad (la etajul doi), se manifestă mecanismul plastic complet, cu rotiri plastice în celelalte bare disipative de aproximativ 0,1 rad.

## 5 Proiectarea anti-seismică a cadrelor P+2E\_E

### 5.1 Analiza structurală

#### 5.1.1 Imperfecțiuni globale

Pentru a determina dacă imperfecțiunile trebuie luate în considerare în calculul global se face verificarea conform 5.3.2(4) din EN 1993-1-1 (2004) și este ilustrată în Tabelul 11.

Tabelul 11. Considerarea imperfecțiunilor.

Etaj	$H_{Ed}$	$V_{Ed}$	$0,15V_{Ed}$	$H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed}$
1	917.93	5301.97	795.30	Da
2	776.36	3545.62	531.84	Da
3	493.06	1790.86	268.63	Da

Condiția este îndeplinită, așadar imperfecțiunile nu au fost modelate în calculul structural.

#### 5.1.2 Efectele de ordinul doi

Importanța efectelor de ordinul doi este dată de coeficientul de sensibilitate al deplasărilor relative de nivel,  $\theta$ , determinat conform 4.4.2.2(2) din EN 1998-1-1 (2004):

$$\theta = \frac{P_{tot} d_r}{V_{tot} h}$$

unde

$P_{tot}$  este încărcarea gravitațională totală la și deasupra etajului considerat în situația seismică de proiectare;

$d_r$  este deplasarea relativă de nivel de calcul, evaluată ca diferența mediei deplasărilor laterale  $d_s$  la partea superioară și inferioară a etajului considerat;

$V_{tot}$  este forța tăietoare de nivel seismică totală;

$h$  este înălțimea de nivel;

Coefficienții  $\theta$  pentru fiecare etaj sunt ilustrați în Tabelul 12. Eforturile au fost obținute din combinația de încărcări S-DIS și deplasările relative de nivel din combinația de încărcări S-DRIFT.

Tabelul 12. Coeficienții  $\theta$ .

Etaj	$P_{tot}$	$V_{tot}$	$d_r$	$\theta$
1	5301.97	917.93	0,0205	0,034
2	3545.62	776.36	0,0261	0,034
3	1790.86	493.06	0,0236	0,024

Deoarece  $\theta < 0.1$ , nu se iau în considerare efectele de ordinul doi.

### 5.1.3 Caracteristicile dinamice

S-a efectuat o analiză modală folosind SAP2000 și rezultatele sunt prezentate în Tabelul 13. Primele două moduri proprii de vibrație au activat mai mult de 90% din masa totală.

Tabelul 13. Rezultatele analizei modale.

Modul	Perioada [s]	Masa modală [%]	Total [%]
1	0,506	83,8	96,7
2	0,188	12,9	

### 5.1.4 Analiza spectrală

Pentru proiectarea cadrelor s-a folosit o analiză spectrală, în urma căreia s-a observat următoarea comportare a structurii, observând deformata, diagrama de moment încovoietor și cea de forță tăietoare, din combinația seismică de încărcări S-DIS, ilustrate în Figura 9:

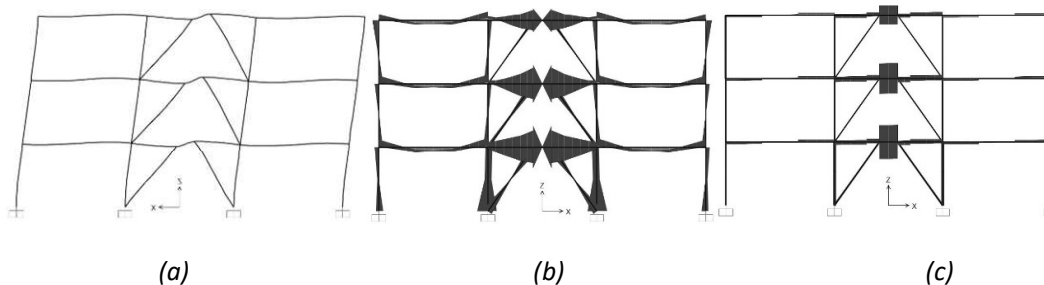


Figura 9. Răspunsul structural: deformata (a), diagrama de moment încovoietor (b) și diagrama de forță tăietoare (c)

## 5.2 Elementele disipative

Elementele disipative ale cadrului sunt linkurile demontabile cu placă de capăt extinsă și grinzile MRF.

Linkurile trebuie concepute pentru a fi detașabile și înlocuibile. Acest obiectiv se poate realiza folosind o îmbinare cu placă de capăt extinsă și șuruburi, care trebuie păstrată în domeniul elastic. Înseamnă că îmbinarea trebuie proiectată să preia o forță de forfecare  $V_{j,Ed}$  și un moment încovoietor  $M_{j,Ed}$  de proiectare corespunzătoare unei bare disipative plasticizate și ecrusate, calculate după cum urmează:

$$V_{j,Ed} = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{p,link}$$

$$M_{j,Ed} = \frac{V_{j,Ed} \cdot e}{2}$$

unde  $\gamma_{ov}$  este 1.25 și  $\gamma_{sh}$  este 1.5.

Pentru a obține supra-rezistența îmbinării, au fost adoptate bare disipative scurte ( $e < 1,6 M_{p,link}/V_{p,link}$ ), conform 6.8.2 din EN 1998-1-1 (2004), din combinația S-DIS, rezultând o lungime de 1,0 m. Secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul 14, împreună cu raportul dintre valoarea de calcul a forței tăietoare  $V_{Ed}$  și rezistența la forfecare  $V_{p,link}$ :

Tabelul 14. Linkurile cu placă de capăt extinsă.

Etaj	Secțiune	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{p,link}$ [kN]	$V_{Ed}/V_{p,link}$	$M_{p,link}$ [kNm]	$e$ [m]	$1,6 M_{p,link}/V_{p,link}$ [m]
1	330x210x16x9	462	579	0,80	375	1,0	1,03
2	290x200x15x8	415	451	0,92	293	1,0	1,04
3	250x190x14x7	256	339	0,76	223	1,0	1,05

Linkurile au fost modelate în analiza globală ca având o rigiditate echivalentă mai mică (calculată folosind doar 70% din aria de forfecare), pentru a ține cont de semi-rigiditatea îmbinărilor cu suruburi ale linkurilor.

### 5.3 Configurația duală

Confirmarea configurației duale se face prin verificarea ca structurile MRF să fie capabile să preia cel puțin 25% din forța seismică totală. Așadar, forța de curgere a MRF ( $F_Y^{MRF} = 4M_{pl,b}/H$ , where  $M_{pl,b}$  este momentul plastic al grinzii MRF și  $H$  este înălțimea de nivel) ar trebui să fie mai mare decât un sfert din forța seismică totală a cadrului ( $F_Y^{MRF} + F_Y^{EBF}$ , unde  $F_Y^{EBF} = (L/H)V_{p,link}$  și  $L$  este lungimea grinzii) (Stratan et.al., 2010):

Tabelul 15. Verificarea configurației duale.

Etaj	Secțiune grindă	$M_{pl,b}$ [kNm]	$H$ [m]	$F_Y^{MRF}$ [kN]	$L$ [m]	$F_Y^{EBF}$ [kN]	$F_Y^{MRF}/(F_Y^{MRF} + F_Y^{EBF})$
1	IPE330	285	3,5	325,7	6	992,9	0,36
2	IPE330	285	3,5	325,7	6	773,0	0,30
3	IPE330	285	3,5	325,7	6	580,4	0,25

Așadar, grinzile MRF au fost proiectate pentru a respecta criteriul unei configurații duale.

### 5.4 Supra-rezistența structurală

$\Omega$  s-a calculat conform 6.8.3(1) din EN 1998-1-1 (2004) ca minimumul rapoartelor dintre 1.5 din capacitatea la forfecare și forța tăietoare de calcul ( $\Omega_i$ ) pentru toate linkurile și valoarea este prezentată în Tabelul 16. S-a asigurat o comportare disipativă globală a structurii, valorile individuale ale rapoartelor  $\Omega_i$  nu depășesc valoarea minimă a acestora cu mai mult de 25%.  $\Omega_T = 1,1\gamma_{ov}\Omega$  înmulțește acțiunea seismică pentru verificarea elementelor nedisipative (unde  $\gamma_{ov}$  este factorul de supra-rezistență a materialului, considerat 1.25 pentru oțel S355).

Tabelul 16. Supra-rezistența sistemului.

Etaj	$\Omega_i$	$\Omega_T = 1,1\gamma_{ov}\Omega$
1	1,88	2,24
2	1,63	
3	1,98	

### 5.5 Elementele nedisipative

Elementele nedisipative sunt stâlpii, contravântuirile și grinzile EBF. Acestea sunt proiectate conform 6.8.3 din EN 1998-1-1 (2004), din combinația S-NDIS și secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul

17, împreună cu raportul dintre eforturile de calcul ( $E_d$ ) și rezistențe ( $R_d$ ) (ținând cont de interacțiunea forță axială-moment încovoietor în cazul stâlpilor și grinzilor EBF și doar de forța axială în cazul contravântuirilor), calculate conform 6.3.1 și 6.3.3 din EN 1993-1-1 (2004). Lungimea de flambaj pentru stâlpii de la parter este de  $0.7H$ , și  $1H$  pentru cei de la etajele superioare, și  $0.8L$  pentru contravântuiri.

Tabelul 17. Elementele nedisipative.

Etaj	Secțiune stâlpi centrali	$E_d/R_d$	Secțiune stâlpi marginali	$E_d/R_d$	Secțiune contravântuiri	$E_d/R_d$	Secțiune grinzi EBF	$E_d/R_d$
1	HE340B	0,604	HE240B	0,348	HE260B	0,775	IPE550	0,654
2	HE340B	0,229	HE240B	0,268	HE240B	0,775	IPE500	0,823
3	HE340B	0,139	HE240B	0,311	HE200B	0,701	IPE450	0,608

## 5.6 Limitarea drifturilor de nivel

Îndeplinirea cerințelor de serviciu (SLS) se verifică prin compararea deplasărilor relative de nivel obținute din combinația S-SLS cu limita de  $0.0075h$ . Verificarea se poate vedea în Tabelul 18:

Tabelul 18. Limitarea deplasărilor relative de nivel.

Etaj	Deplasare relativă de nivel [mm]	Limita admisă [mm]
1	10,269	26,25
2	13,077	
3	11,813	

## 5.7 "Stâlp tare-grindă slabă"

Pentru a evita formarea mecanismelor de nivel în cazul clădirilor multietajate, 4.4.2.3(4) din EN 1998-1-1 (2004) menționează că trebuie satisfăcută următoarea condiție pentru toate nodurile grindă-stâlp (mai puțin la ultimul nivel):

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 \sum M_{Rb}$$

unde

$M_{Rc}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale stâlpilor care intră în nod;

$M_{Rb}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale grinzilor care intră în nod;

Verificarea se poate observa în Tabelul 19:

Tabelul 19. Verificarea "stâlp tare-grindă slabă".

Etaj	Stâlpi centrali [kNm]						Stâlpi marginali [kNm]				
	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$M_{Rb}^{EBF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	$\nu$	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	$\nu$
1	855	286	989	1710	1658	Ok	374	286	748	372	Ok
2	855	286	779	1710	1385	Ok	374	286	748	372	Ok
3	855	286	604	-	-	-	374	286	-	-	-

## 5.8 Analiza statică neliniară

Analiza statică neliniară s-a efectuat pentru a verifica capacitatea de recentrare, folosind SAP2000, în control de deplasare, până când se atinge o deplasare monitorizată la vârful structurii. În primul rând, forțele gravitaționale (din combinația de încărcări  $1,0\cdot G+0,3\cdot Q$ ) trebuie aplicate în control de forță și,

în al doilea rând, forțele laterale, cu o distribuție modală, vor fi aplicate asupra cadrelor analizate în controlul de deplasare.

Proprietățile efective ale materialelor au fost folosite pentru elementele disipative, utilizând  $\gamma_{ov}$ , și a proprietățile nominale ale materialelor pentru elementele nedisipative.

Articulații plastice neliniare de tip moment încovoietor (M3) au fost atribuite la capetele grinzilor MRF și de tip interacțiune moment încovoietor-forță axială (P-M3) la capetele stâlpilor și grinzilor EBF. Pentru contravântuiri s-au folosit articulații plastice neliniare de tip axial (P), fiind atribuite la mijlocul barelor. Pentru linkurile scurte s-au definit articulații plastice neliniare de forfecare (V2), fiind atribuite tot la mijlocul barelor, proprietățile acestora fiind calculate conform ASCE/SEI 41-13 (2013).

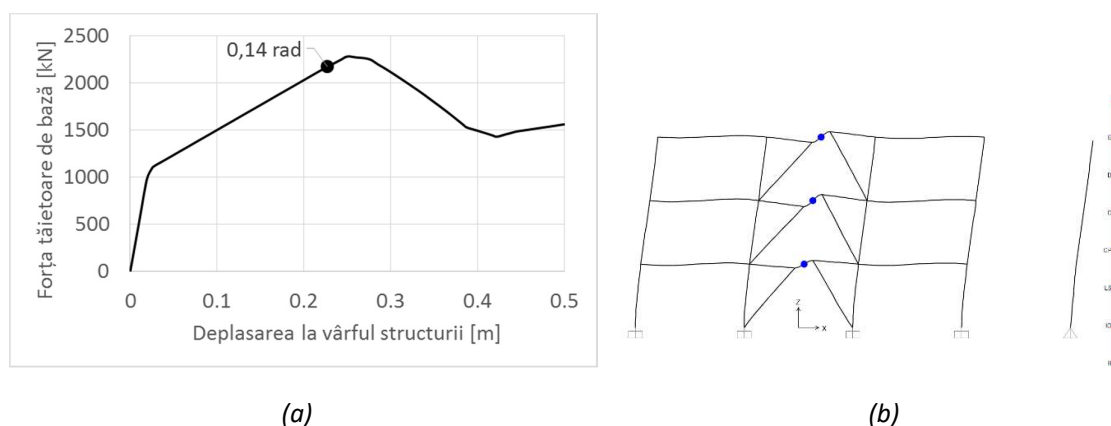


Figura 10. Curba de comportare (a) și starea cadrului la atingerea a 0,14 rad în link (b)

După efectuarea analizei PO pe cadrul proiectat elastic, s-au observat curgeri în alte elemente structurale înainte de atingerea a 0,14 rad (capacitatea de deformație ultimă la SLU) în barele disipative detașabile. Astfel că s-a folosit oțel de înaltă rezistență S690 pentru cadrele MRF, cu reducerea secțiunii grinzilor MRF la IPE270. Astfel, cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile fiind îndeplinită. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului până la atingerea deformației ultime din barele disipative (0,14 rad). Atunci când rotirea de vârf a barei disipative atinge 0,14 rad (la etajul doi), se manifestă mecanismul plastic complet, cu rotiri plastice în celelalte bare disipative cu valori între 0,09 rad și 0,13 rad.

## 6 Proiectarea anti-seismică a cadrelor P+5E\_F

### 6.1.1 Imperfecțiuni globale

Pentru a determina dacă imperfecțiunile trebuie luate în considerare în calculul global se face verificarea conform 5.3.2(4) din EN 1993-1-1 (2004) și este ilustrată în Tabelul 20.

Tabelul 20. Considerarea imperfecțiunilor.

Etaj	$H_{Ed}$	$V_{Ed}$	$0,15V_{Ed}$	$H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed}$
1	1325.50	10702.85	1605.43	Nu
2	1258.25	8930.39	1339.56	Da
3	1136.22	7157.92	1073.69	Da
4	967.69	5313.80	797.07	Da
5	751.62	3551.97	532.80	Da
6	466.34	1792.91	268.94	Da

Condiția nu este îndeplinită, așadar imperfecțiunile au fost modelate în calculul structural, aplicând forțele laterale echivalente  $H_i$ , conform 5.3.2 din EN 1993-1-1 (2004).

$$\phi_0 = 1/200 = 0.005$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{H}} = 0.436 < \frac{2}{3} \Rightarrow \alpha_h = 0.667$$

$$\alpha_m = \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.791$$

m=4

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = 0.00264$$

Forțele laterale echivalente  $H_i$ , calculate cu ajutorul încărcărilor gravitaționale totale  $P_i$  ale aceluiași etaj și imperfecțiunea globală inițială  $\phi$ , sunt:

Tabelul 21. Forțele laterale echivalente care modelează imperfecțiunile globale.

Etaj	$P_i$	$H_i$
1	1772,46	4,67
2	1772,47	4,67
3	1844,12	4,86
4	1761,83	4,64
5	1759,06	4,64
6	1792,91	4,72

Aceste forțe se introduc în fiecare combinație de încărcări la SLU, în cazul de încărcare I:

S-DIS-I:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + A_{Ed} + I$$

S-NDIS-I:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + \Omega_T A_{Ed} + I$$

S-DRIFT-I:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + q A_{Ed} + I$$

### 6.1.2 Efectele de ordinul doi

Importanța efectelor de ordinul doi este dată de coeficientul de sensibilitate al deplasărilor relative de nivel,  $\theta$ , determinat conform 4.4.2.2(2) din EN 1998-1-1 (2004):

$$\theta = \frac{P_{tot} d_r}{V_{tot} h}$$

unde

$P_{tot}$  este încărcarea gravitațională totală la și deasupra etajului considerat în situația seismică de proiectare;

$d_r$  este deplasarea relativă de nivel de calcul, evaluată ca diferența mediei deplasărilor laterale  $d_s$  la partea superioară și inferioară a etajului considerat;

$V_{tot}$  este forța tăietoare de nivel seismică totală;

$h$  este înălțimea de nivel;

Coeficienții  $\theta$  pentru fiecare etaj sunt ilustrați în Tabelul 22. Eforturile au fost obținute din combinația de încărcări S-DIS-I și deplasările relative de nivel din combinația de încărcări S-DRIFT-I.



Tabelul 22. Coeficienții  $\theta$ .

Etaj	$P_{tot}$	$V_{tot}$	$d_r$	$\theta$
1	10702.85	1353.42	0.0173	0.039
2	8930.39	1281.54	0.0239	0.048
3	7157.92	1154.89	0.0273	0.048
4	5313.80	981.65	0.0290	0.045
5	3551.97	760.95	0.0311	0.041
6	1792.91	471.05	0.0312	0.034

Deoarece  $\theta < 0.1$ , nu se iau în considerare efectele de ordinul doi.

### 6.1.3 Caracteristicile dinamice

S-a efectuat o analiză modală folosind SAP2000 și rezultatele sunt prezentate în Tabelul 23. Primele două moduri proprii de vibrație au activat mai mult de 90% din masa totală.

Tabelul 23. Rezultatele analizei modale.

Modul	Perioada [s]	Masa modală [%]	Total [%]
1	0,819	75,2	91,0
2	0,299	15,8	

### 6.1.4 Analiza spectrală

Pentru proiectarea cadrelor s-a folosit o analiză spectrală, în urma căreia s-a observat următoarea comportare a structurii, observând deformata, diagrama de moment încovoietor și cea de forță tăietoare, din combinația seismică de încărcări S-DIS, ilustrate în Figura 11:

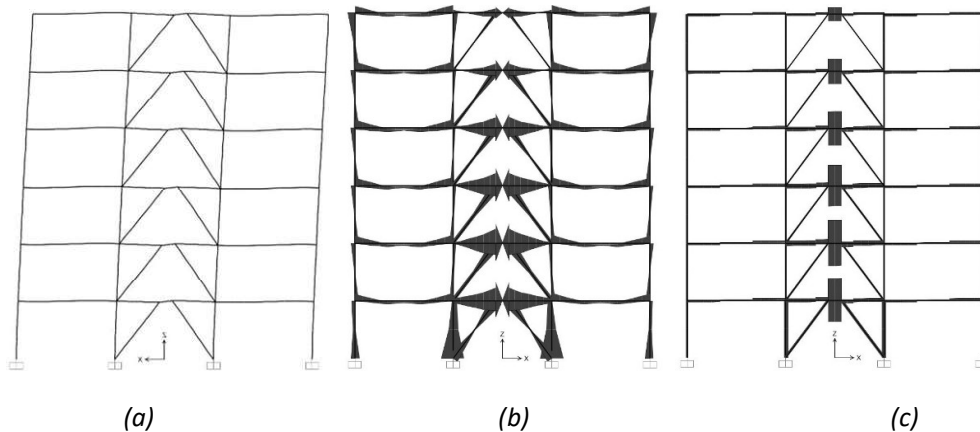


Figura 11. Răspunsul structural: deformata (a), diagrama de moment încovoietor (b) și diagrama de forță tăietoare (c)

## 6.2 Elementele disipative

Elementele disipative ale cadrului sunt linkurile demontabile cu placă de capăt și grinzile MRF.

Linkurile trebuie concepute pentru a fi detașabile și înlocuibile. Acest obiectiv se poate realiza folosind o îmbinare cu placă de capăt și șuruburi, care trebuie păstrată în domeniul elastic. Înseamnă că îmbinarea trebuie proiectată să preia o forță de forfecare  $V_{j,Ed}$  și un moment încovoietor  $M_{j,Ed}$  de proiectare corespunzătoare unei bare disipative plasticizate și ecrusate, calculate după cum urmează:

$$V_{j,Ed} = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{p,link}$$

$$M_{j,Ed} = \frac{V_{j,Ed} \cdot e}{2}$$

unde  $\gamma_{ov}$  este 1.25 și  $\gamma_{sh}$  este 1.8.

Pentru a obține supra-rezistența îmbinării, au fost adoptate bare disipative foarte scurte (chiar  $e < 0,8 M_{p,link} / V_{p,link}$ ), din combinația S-DIS-I, rezultând o lungime de 0,8 m. Secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul 24, împreună cu raportul dintre valoarea de calcul a forței tăietoare  $V_{Ed}$  și rezistența la forfecare  $V_{p,link}$ :

Tabelul 24. Linkurile cu placă de capăt.

Etaj	Secțiune	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{p,link}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{p,link}$	$M_{p,link}$ [kNm]	$e$ [m]	$0,8 M_{p,link} / V_{p,link}$ [m]
1	490x240x20x8	634	771	0,82	801	0,8	0,83
2	490x240x20x8	676	771	0,88	801	0,8	0,83
3	490x240x20x8	593	771	0,77	801	0,8	0,83
4	390x240x20x8	505	607	0,83	630	0,8	0,83
5	290x240x20x8	373	443	0,84	460	0,8	0,83
6	250x190x16x5	199	240	0,83	253	0,8	0,84

Linkurile au fost modelate în analiza globală ca având o rigiditate echivalentă mai mică (calculată folosind doar 70% din aria de forfecare), pentru a ține cont de semi-rigiditatea îmbinărilor cu șuruburi ale linkurilor.

### 6.3 Configurația duală

Confirmarea configurației duale se face prin verificarea ca structurile MRF să fie capabile să preia cel puțin 25% din forța seismică totală. Așadar, forța de curgere a MRF ( $F_V^{MRF} = 4M_{pl,b}/H$ , where  $M_{pl,b}$  este momentul plastic al grinzii MRF și  $H$  este înălțimea de nivel) ar trebui să fie mai mare decât un sfert din forța seismică totală a cadrului ( $F_V^{MRF} + F_V^{EBF}$ , unde  $F_V^{EBF} = (L/H)V_{p,link}$  și  $L$  este lungimea grinzii) (Stratan et.al., 2010):

Tabelul 25. Verificarea configurației duale.

Etaj	Secțiune grindă	$M_{pl,b}$ [kNm]	$H$ [m]	$F_V^{MRF}$ [kN]	$L$ [m]	$F_V^{EBF}$ [kN]	$F_V^{MRF} / (F_V^{MRF} + F_V^{EBF})$
1	IPE360	362	3,5	413,7	6	1321,1	0,25
2	IPE360	362	3,5	413,7	6	1321,1	0,25
3	IPE360	362	3,5	413,7	6	1321,1	0,25
4	IPE360	362	3,5	413,7	6	1040,0	0,28
5	IPE360	362	3,5	413,7	6	758,9	0,35
6	IPE360	362	3,5	413,7	6	411,1	0,50

Așadar, grinzile MRF au fost proiectate pentru a respecta criteriul unei configurații duale.

### 6.4 Supra-rezistența structurală

$\Omega$  s-a calculat conform 6.8.3(1) din EN 1998-1-1 (2004) ca minimul rapoartelor dintre 1.8 din capacitatea la forfecare și forța tăietoare de calcul ( $\Omega_i$ ) pentru toate linkurile și valoarea este prezentată în Tabelul 26. S-a asigurat o comportare disipativă globală a structurii, valorile individuale ale rapoartelor  $\Omega_i$  nu depășesc valoarea minimă a acestora cu mai mult de 25%.  $\Omega_T = \gamma_{ov} \Omega$  înmulțește acțiunea seismică pentru verificarea elementelor nedisipative (unde  $\gamma_{ov}$  este factorul de supra-rezistență a materialului, considerat 1.25 pentru oțel S355).

Tabelul 26. Supra-rezistența sistemului.

Etaj	$\Omega_i$	$\Omega_T = \gamma_{ov} \Omega$
1	2,19	2,57
2	2,05	
3	2,34	
4	2,16	

5	2,14	
6	2,17	

## 6.5 Elementele nedisipative

Elementele nedisipative sunt stâlpii, contravântuirile și grinziile EBF. Acestea sunt proiectate conform 6.8.3 din EN 1998-1-1, din combinația S-NDIS-I și secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul 27, împreună cu raportul dintre eforturile de calcul ( $E_d$ ) și rezistențe ( $R_d$ ) (ținând cont de interacțiunea forță axială-moment încovoietor în cazul stîlpilor și grinziilor EBF și doar de forța axială în cazul contravântuirilor), calculate conform 6.3.1 și 6.3.3 din EN 1993-1-1 (2004). Lungimea de flambaj pentru stâlpii de la parter este de 0.7H, și 1H pentru cei de la etajele superioare, și 0.8L pentru contravântuiri.

Tabelul 27. Elementele nedisipative.

Etaj	Secțiune stâlpi centrali	Ed/Rd	Secțiune stâlpi marginali	Ed/Rd	Secțiune contravântuiri	Ed/Rd	Secțiune grinzi EBF	Ed/Rd
1	HE340M	0,884	HE300B	0,421	HE320B	0,869	HE450A	0,638
2	HE340M	0,533	HE300B	0,311	HE320B	0,859	HE450A	0,701
3	HE340M	0,391	HE300B	0,311	HE320B	0,777	HE450A	0,617
4	HE340B	0,375	HE300B	0,269	HE280B	0,837	HE400A	0,631
5	HE340B	0,222	HE300B	0,263	HE260B	0,843	HE300A	0,788
6	HE340B	0,225	HE300B	0,345	HE200B	0,784	HE260A	0,703

## 6.6 Limitarea drifturilor de nivel

Îndeplinirea cerințelor de serviciu (SLS) se verifică prin compararea deplasărilor relative de nivel obținute din combinația S-SLS-I cu limita de 0.0075h. Verificarea se poate vedea în Tabelul 28:

Tabelul 28. Limitarea deplasărilor relative de nivel.

Etaj	Deplasare relativă de nivel [mm]	Limita admisă [mm]
1	8,830	26,25
2	12,184	
3	13,090	
4	14,750	
5	15,851	
6	15,267	

## 6.7 "Stâlp tare-grindă slabă"

Pentru a evita formarea mecanismelor de nivel în cazul clădirilor multietajate, 4.4.2.3(4) din EN 1998-1-1 (2004) menționează că trebuie satisfăcută următoarea condiție pentru toate nodurile grindă-stâlp (mai puțin la ultimul nivel):

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 \sum M_{Rb}$$

unde

$M_{Rc}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale stîlpilor care intră în nod;

$M_{Rb}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale grinziilor care intră în nod;

Verificarea se poate observa în Tabelul 29:

Tabelul 29. Verificarea "stâlp tare-grindă slabă".

Etaj	Stâlpi centrali [kNm]						Stâlpi marginali [kNm]				
	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$M_{Rb}^{EBF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	$v$	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	$v$
1	1675	362	1142	3350	1955	Ok	663	362	1326	471	Ok
2	1675	362	1142	3350	1955	Ok	663	362	1326	471	Ok
3	1675	362	1142	2530	1955	Ok	663	362	1326	471	Ok
4	855	362	910	1710	1654	Ok	663	362	1326	471	Ok
5	855	362	491	1710	1109	Ok	663	362	1326	471	Ok
6	855	362	327	-	-	-	663	362	-	-	-

## 6.8 Analiza statică neliniară

Analiza statică neliniară s-a efectuat pentru a verifica capacitatea de recentrare, folosind SAP2000, în control de deplasare, până când se atinge o deplasare monitorizată la vârful structurii. În primul rând, forțele gravitaționale (din combinația de încărcări  $1,0\cdot G+0,3\cdot Q$ ) trebuie aplicate în control de forță și, în al doilea rând, forțele laterale, cu o distribuție modală, vor fi aplicate asupra cadrelor analizate în controlul de deplasare.

Proprietățile efective ale materialelor au fost folosite pentru elementele disipative, utilizând  $\gamma_{ov}$ , și a proprietățile nominale ale materialelor pentru elementele nedisipative.

Articulații plastice neliniare de tip moment încovoietor (M3) au fost atribuite la capetele grinzilor MRF și de tip interacțiune moment încovoietor-forță axială (P-M3) la capetele stâlpilor și grinzilor EBF. Pentru contravântuiri s-au folosit articulații plastice neliniare de tip axial (P), fiind atribuite la mijlocul barelor. Pentru linkurile scurte s-au definit articulații plastice neliniare de forfecare (V2), fiind atribuite tot la mijlocul barelor, proprietățile acestora fiind calculate conform ASCE/SEI 41-13 (2013).

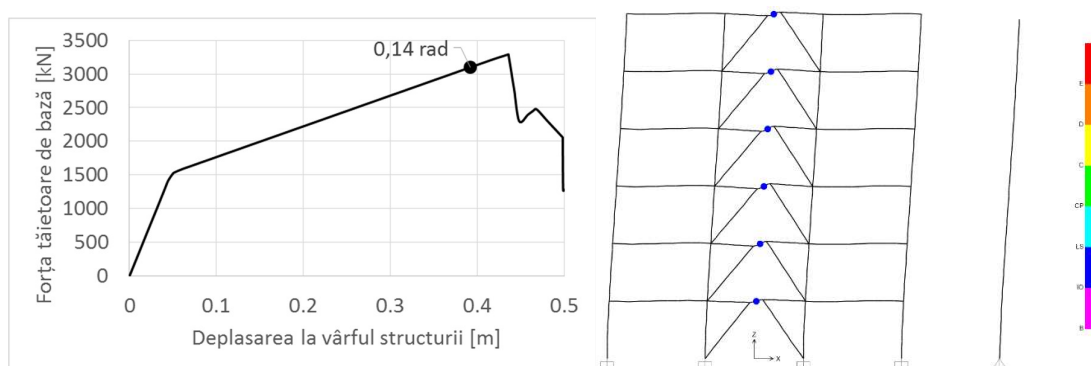


Figura 12. Curba de comportare (a) și starea cadrului la atingerea a 0,14 rad in link (b)

După efectuarea analizei PO pe cadrul proiectat elastic, s-au observat curgeri în alte elemente structurale înainte de atingerea a 0,14 rad (capacitatea de deformație ultimă la SLU) în barele disipative detașabile. Astfel că s-a folosit oțel de înaltă rezistență S690 pentru cadrele MRF, cu reducerea secțiunii grinzilor MRF la IPE300. Astfel, cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile fiind îndeplinită. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului până la atingerea deformației ultime din barele disipative (0,14 rad). Atunci când rotirea de vârf a barei disipative atinge 0,14 rad (la etajul trei), se manifestă mecanismul plastic complet, cu rotiri plastice în celelalte bare disipative cu valori între 0,08 rad și 0,13 rad.

## 7.1.1 Imperfecțiuni globale

Pentru a determina dacă imperfecțiunile trebuie luate în considerare în calculul global se face verificarea conform 5.3.2(4) din EN 1993-1-1 și este ilustrată în Tabelul 30.

Tabelul 30. Considerarea imperfecțiunilor.

Etaj	$H_{Ed}$	$V_{Ed}$	$0,15V_{Ed}$	$H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed}$
1	1100.94	10721.70	1608.26	Nu
2	1036.77	8948.77	1342.32	Nu
3	927.83	7177.85	1076.68	Nu
4	789.70	5334.15	800.12	Nu
5	620.62	3565.99	534.90	Da
6	394.38	1800.10	270.02	Da

Condiția nu este îndeplinită, așadar imperfecțiunile au fost modelate în calculul structural, aplicând forțele laterale echivalente  $H_i$ , conform 5.3.2 din EN 1993-1-1 (2004).

$$\phi_0 = 1/200 = 0.005$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{H}} = 0.436 < \frac{2}{3} \Rightarrow \alpha_h = 0.667$$

$$\alpha_m = \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.791$$

$$m=4$$

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = 0.00264$$

Forțele laterale echivalente  $H_i$ , calculate cu ajutorul încărcărilor gravitaționale totale  $P_i$  ale aceleiași etaj și imperfecțiunea globală inițială  $\phi$ , sunt:

Tabelul 31. Forțele laterale echivalente care modelează imperfecțiunile globale.

Etaj	$P_i$	$H_i$
1	1772.93	4.67
2	1770.92	4.67
3	1843.70	4.86
4	1768.16	4.66
5	1765.89	4.65
6	1800.10	4.74

Aceste forțe se introduc în fiecare combinație de încărcări la SLU, în cazul de încărcare I:

S-DIS-I:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + A_{Ed} + I$$

S-NDIS-I:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + \Omega_T A_{Ed} + I$$

S-DRIFT-I:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} + q A_{Ed} + I$$

### 7.1.2 Efectele de ordinul doi

Importanța efectelor de ordinul doi este dată de coeficientul de sensibilitate al deplasărilor relative de nivel,  $\theta$ , determinat conform 4.4.2.2(2) din EN 1998-1-1 (2004):

$$\theta = \frac{P_{tot}d_r}{V_{tot}h}$$

unde

$P_{tot}$  este încărcarea gravitațională totală la și deasupra etajului considerat în situația seismică de proiectare;

$d_r$  este deplasarea relativă de nivel de calcul, evaluată ca diferența mediei deplasărilor laterale  $d_s$  la partea superioară și inferioară a etajului considerat;

$V_{tot}$  este forța tăietoare de nivel seismică totală;

$h$  este înălțimea de nivel;

Coeficienții  $\theta$  pentru fiecare etaj sunt ilustrați în Tabelul 32. Eforturile au fost obținute din combinația de încărcări S-DIS-I și deplasările relative de nivel din combinația de încărcări S-DRIFT-I.

Tabelul 32. Coeficienții  $\theta$ .

Etaj	$P_{tot}$	$V_{tot}$	$d_r$	$\theta$
1	10731.70	1128.86	0.0215	0.058
2	8949.77	1060.06	0.0285	0.069
3	7177.85	946.50	0.0304	0.066
4	5334.15	803.66	0.0329	0.062
5	3565.99	629.95	0.0353	0.057
6	1800.10	399.09	0.0346	0.045

Deoarece  $\theta < 0.1$ , nu se iau în considerare efectele de ordinul doi.

### 7.1.3 Caracteristicile dinamice

S-a efectuat o analiză modală folosind SAP2000 și rezultatele sunt prezentate în Tabelul 33. Primele două moduri proprii de vibrație au activat mai mult de 90% din masa totală.

Tabelul 33. Rezultatele analizei modale.

Modul	Perioada [s]	Masa modală [%]	Total [%]
1	0,971	76,4	91,2
2	0,366	14,8	

### 7.1.4 Analiza spectrală

Pentru proiectarea cadrelor s-a folosit o analiză spectrală, în urma căreia s-a observat următoarea comportare a structurii, observând deformata, diagrama de moment încovoietor și cea de forță tăietoare, din combinația seismică de încărcări S-DIS, ilustrate în Figura 13:

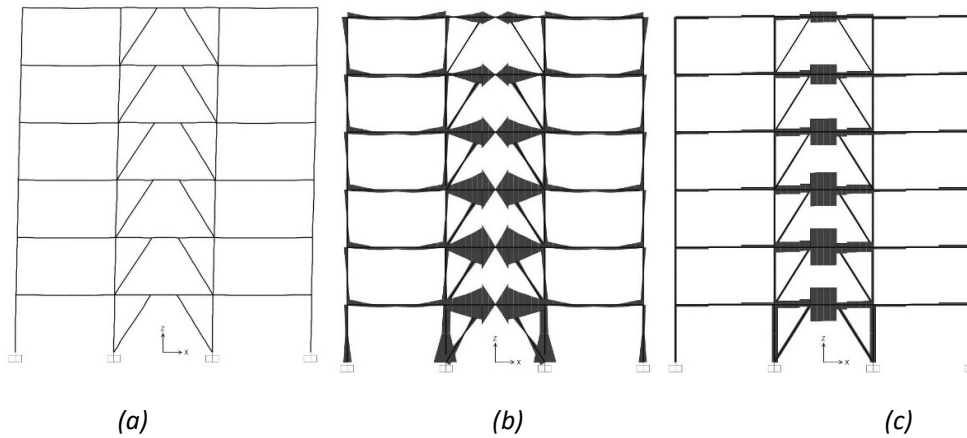


Figura 13. Răspunsul structural: deformata (a), diagrama de moment încovoietor (b) și diagrama de forță tăietoare (c)

## 7.2 Elementele disipative

Elementele disipative ale cadrului sunt linkurile demontabile cu placă de capăt extinsă și grinzile MRF.

Linkurile trebuie concepute pentru a fi detașabile și înlocuibile. Acest obiectiv se poate realiza folosind o îmbinare cu placă de capăt și șuruburi, care trebuie păstrată în domeniul elastic. Înseamnă că îmbinarea trebuie proiectată să preia o forță de forfecare  $V_{j,Ed}$  și un moment încovoietor  $M_{j,Ed}$  de proiectare corespunzătoare unei bare disipative plasticizate și ecrusate, calculate după cum urmează:

$$V_{j,Ed} = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{p,link}$$

$$M_{j,Ed} = \frac{V_{j,Ed} \cdot e}{2}$$

unde  $\gamma_{ov}$  este 1.25 și  $\gamma_{sh}$  este 1.5.

Pentru a obține supra-rezistența îmbinării, au fost adoptate bare disipative scurte ( $e < 1,6 M_{p,link} / V_{p,link}$ ), conform 6.8.2 din EN 1998-1-1 (2004), din combinația S-DIS-I, rezultând o lungime de 1,6 m. Secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul 34, împreună cu raportul dintre valoarea de calcul a forței tăietoare  $V_{Ed}$  și rezistența la forfecare  $V_{p,link}$ :

Tabelul 34. Linkurile cu placă de capăt extinsă.

Etaj	Secțiune	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{p,link}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{p,link}$	$M_{p,link}$ [kNm]	$e$ [m]	$0,8 M_{p,link} / V_{p,link}$ [m]
1	490x240x20x8	487	771	0,63	801	1,6	1,66
2	490x240x20x8	536	771	0,7	801	1,6	1,66
3	490x240x20x8	490	771	0,64	801	1,6	1,66
4	390x240x20x8	389	607	0,64	630	1,6	1,66
5	290x240x20x8	286	443	0,65	460	1,6	1,66
6	250x190x16x5	157	240	0,65	253	1,6	1,68

Linkurile au fost modelate în analiza globală ca având o rigiditate echivalentă mai mică (calculată folosind doar 70% din aria de forfecare), pentru a ține cont de semi-rigiditatea îmbinărilor cu șuruburi ale linkurilor.

## 7.3 Configurația duală

Confirmarea configurației duale se face prin verificarea ca structurile MRF să fie capabile să preia cel puțin 25% din forța seismică totală. Așadar, forța de curgere a MRF ( $F_y^{MRF} = 4M_{pl,b}/H$ , where  $M_{pl,b}$  este momentul plastic al grinzii MRF și  $H$  este înălțimea de nivel) ar trebui să fie mai mare decât un sfert

din forța seismică totală a cadrului ( $F_V^{MRF} + F_V^{EBF}$ , unde  $F_V^{EBF} = (L/H)V_{p,link}$  și  $L$  este lungimea grinzii) (Stratan et.al., 2010):

Tabelul 35. Verificarea configurației duale.

Etaj	Secțiune grindă	$M_{pl,b}$ [kNm]	$H$ [m]	$F_V^{MRF}$ [kN]	$L$ [m]	$F_V^{EBF}$ [kN]	$F_V^{MRF} / (F_V^{MRF} + F_V^{EBF})$
1	IPE360	362	3,5	413,7	6	1321,1	0,25
2	IPE360	362	3,5	413,7	6	1321,1	0,25
3	IPE360	362	3,5	413,7	6	1321,1	0,25
4	IPE360	362	3,5	413,7	6	1040,0	0,28
5	IPE360	362	3,5	413,7	6	758,9	0,35
6	IPE360	362	3,5	413,7	6	411,1	0,50

Așadar, grinzile MRF au fost proiectate pentru a respecta criteriul unei configurații duale.

#### 7.4 Supra-rezistența structurală

$\Omega$  s-a calculat conform 6.8.3(1) din EN 1998-1-1 (2004) ca minimumul rapoartelor dintre 1.5 din capacitatea la forfecare și forța tăietoare de calcul ( $\Omega_i$ ) pentru toate linkurile și valoarea este prezentată în Tabelul 36. S-a asigurat o comportare disipativă globală a structurii, valorile individuale ale rapoartelor  $\Omega_i$  nu depășesc valoarea minimă a acestora cu mai mult de 25%.  $\Omega_T = 1,1\gamma_{ov}\Omega$  înmulțește acțiunea seismică pentru verificarea elementelor nedisipative (unde  $\gamma_{ov}$  este factorul de supra-rezistență a materialului, considerat 1.25 pentru oțel S355).

Tabelul 36. Supra-rezistența sistemului.

Etaj	$\Omega_i$	$\Omega_T = 1,1\gamma_{ov}\Omega$
1	2,37	2,97
2	2,16	
3	2,36	
4	2,34	
5	2,32	
6	2,29	

#### 7.5 Elementele nedisipative

Elementele nedisipative sunt stâlpii, contravântuirile și grinzile EBF. Acestea sunt proiectate conform 6.8.3 din EN 1998-1-1, din combinația S-NDIS-I și secțiunile obținute sunt prezentate în Tabelul 37, împreună cu raportul dintre eforturile de calcul ( $E_d$ ) și rezistențe ( $R_d$ ) (ținând cont de interacțiunea forță axială-moment încovoietor în cazul stâlpilor și grinzilor EBF și doar de forța axială în cazul contravântuirilor), calculate conform 6.3.1 și 6.3.3 din EN 1993-1-1 (2004). Lungimea de flambaj pentru stâlpii de la parter este de 0.7H, și 1H pentru cei de la etajele superioare, și 0.8L pentru contravântuiri.

Tabelul 37. Elementele nedisipative.

Etaj	Secțiune stâlpi centrali	$E_d/R_d$	Secțiune stâlpi marginali	$E_d/R_d$	Secțiune contravântuiri	$E_d/R_d$	Secțiune grinzi EBF	$E_d/R_d$
1	HE340M	0,956	HE300B	0,555	HE320B	0,901	IPE750x147	0,853
2	HE340M	0,530	HE300B	0,360	HE320B	0,851	IPE750x147	0,971
3	HE340M	0,352	HE300B	0,330	HE320B	0,775	IPE750x147	0,878
4	HE300M	0,272	HE300B	0,329	HE280B	0,853	IPE600	0,861
5	HE300M	0,173	HE300B	0,310	HE260B	0,810	IPE500	0,947
6	HE300M	0,157	HE300B	0,393	HE200B	0,699	IPE450	0,717



## 7.6 Limitarea drifturilor de nivel

Îndeplinirea cerințelor de serviciu (SLS) se verifică prin compararea deplasărilor relative de nivel obținute din combinația S-SLS-I cu limita de 0.0075h. Verificarea se poate vedea în Tabelul 38:

Tabelul 38. Limitarea deplasărilor relative de nivel.

Etaj	Deplasare relativă de nivel [mm]	Limita admisă [mm]
1	11,017	26,25
2	14,525	
3	14,836	
4	16,766	
5	17,936	
6	17,209	

## 7.7 “Stâlp tare-grindă slabă”

Pentru a evita formarea mecanismelor de nivel în cazul clădirilor multietajate, 4.4.2.3(4) din EN 1998-1-1 (2004) menționează că trebuie satisfăcută următoarea condiție pentru toate nodurile grindă-stâlp (mai puțin la ultimul nivel):

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 \sum M_{Rb}$$

unde

$M_{Rc}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale stâlpilor care intră în nod;

$M_{Rb}$  este suma valorilor de calcul ale rezistențelor la încovoiere ale grinzilor care intră în nod;

Verificarea se poate observa în Tabelul 39:

Tabelul 39. Verificarea “stâlp tare-grindă slabă”.

Etaj	Stâlpi centrali [kNm]						Stâlpi marginali [kNm]				
	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$M_{Rb}^{EBF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	v	$M_{Rc}$	$M_{Rb}^{MRF}$	$\sum M_{Rc}$	$1,3\sum M_{Rb}$	v
1	1675	362	1814	3350	2829	Ok	663	362	1326	471	Ok
2	1675	362	1814	3350	2829	Ok	663	362	1326	471	Ok
3	1675	362	1814	3212	2829	Ok	663	362	1326	471	Ok
4	1448	362	1247	2896	2092	Ok	663	362	1326	471	Ok
5	1448	362	779	2896	1483	Ok	663	362	1326	471	Ok
6	1448	362	604	-	-	-	663	362	-	-	-

## 7.8 Analiza statică neliniară

Analiza statică neliniară s-a efectuat pentru a verifica capacitatea de recentrare, folosind SAP2000, în control de deplasare, până când se atinge o deplasare monitorizată la vârful structurii. În primul rând, forțele gravitaționale (din combinația de încărcări 1,0·G+0,3·Q) trebuie aplicate în control de forță și, în al doilea rând, forțele laterale, cu o distribuție modală, vor fi aplicate asupra cadrelor analizate în controlul de deplasare.

Proprietățile efective ale materialelor au fost folosite pentru elementele disipative, utilizând  $\gamma_{ov}$ , și a proprietățile nominale ale materialelor pentru elementele nedisipative.

Articulații plastice neliniare de tip moment încovoietor (M3) au fost atribuite la capetele grinzilor MRF și de tip interacțiune moment încovoietor-forță axială (P-M3) la capetele stâlpilor și grinzilor EBF. Pentru contravântuiri s-au folosit articulații plastice neliniare de tip axial (P), fiind atribuite la

mijlocul barelor. Pentru linkurile scurte s-au definit articulații plastice neliniare de forfecare (V2), fiind atribuite tot la mijlocul barelor, proprietățile acestora fiind calculate conform ASCE/SEI 41-13 (2013).

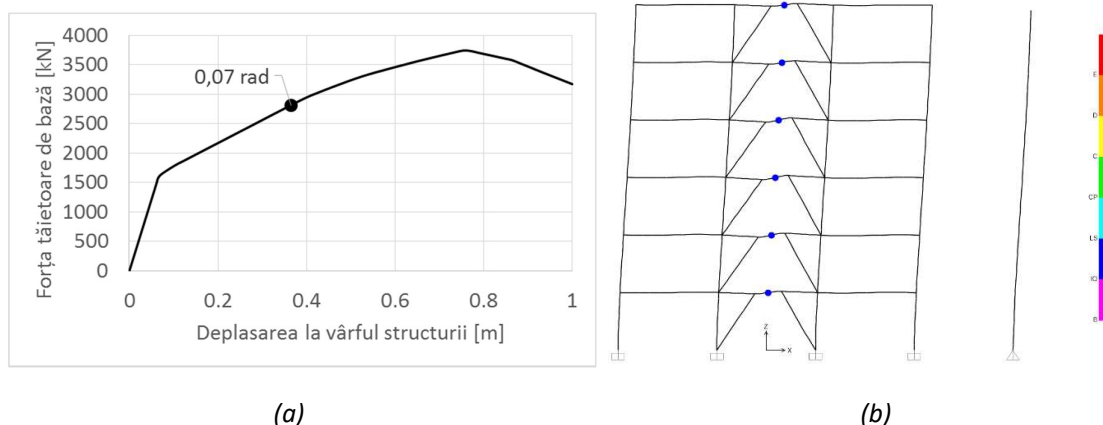


Figura 14. Curba de comportare (a) și starea cadrului la atingerea a 0,14 rad in link (b)

După efectuarea analizei PO pe cadrul proiectat elastic, s-au observat curgeri în alte elemente structurale înainte de atingerea a 0,14 rad (capacitatea de deformație ultimă la SLU) în barele disipative detașabile. Astfel că s-a folosit oțel de înaltă rezistență S690 pentru cadrele MRF. Cu toate acestea, cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile nu este îndeplinită. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului până la atingerea unei deformații de 0,07 rad în barele disipative. Atunci când rotirea de vârf a barei disipative atinge 0,07 rad (la etajul trei), se manifestă mecanismul plastic complet, cu rotiri plastice în celelalte bare disipative cu valori de aproximativ 0,035 rad.

## 8 Eliminarea barelor disipative și recentrarea cadrelor

În ceea ce privește eliminarea barelor disipative și recentrarea cadrelor, a fost utilizată o analiză statică neliniară în etape ("staged construction") din SAP2000 pe cadrul P+5E\_F (Figura 15).

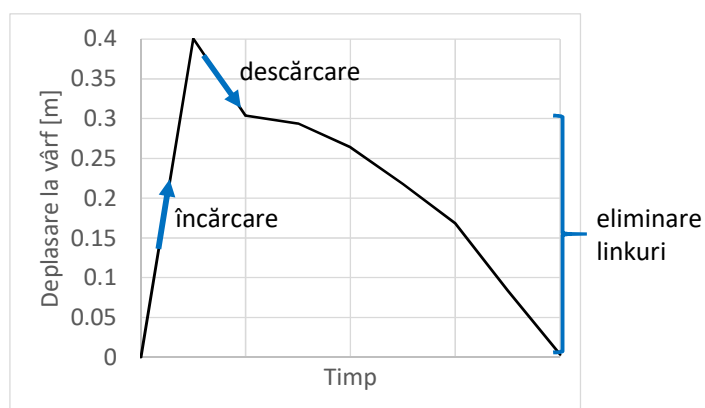


Figura 15. Deplasarea la vârf în timpul recentrării cadrelor după eliminarea linkurilor

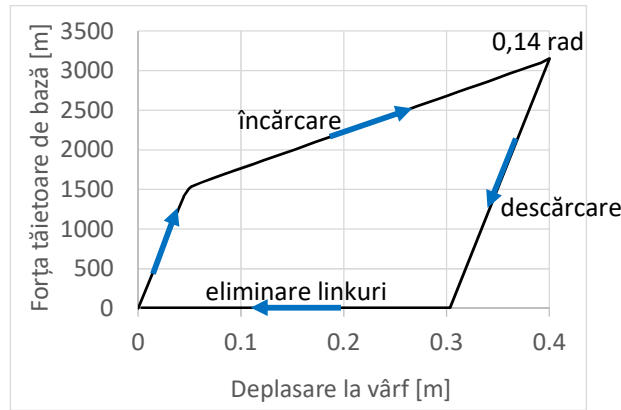


Figura 16. Relația forță-deplasare în timpul recentrării cadrelor după eliminarea linkurilor

Etapele analizei sunt următoarele: în primul rând, cadrul este încărcat cu forțe gravitaționale și apoi cu forțe laterale (până când se ajunge la deformația ultimă a barelor disipative de 0,14 rad) (Figura 17a), apoi este descărcat (Figura 17b), în al doilea rând, barele disipative sunt eliminate nivel cu nivel, începând de la nivelul inferior spre cel superior (Ioan et al., 2012) (Figura 17c-h). După eliminarea ultimei bare disipative, structura revine la poziția sa inițială (a se vedea Figura 16), cu o deplasare la vârful structurii remanentă de 3 mm.

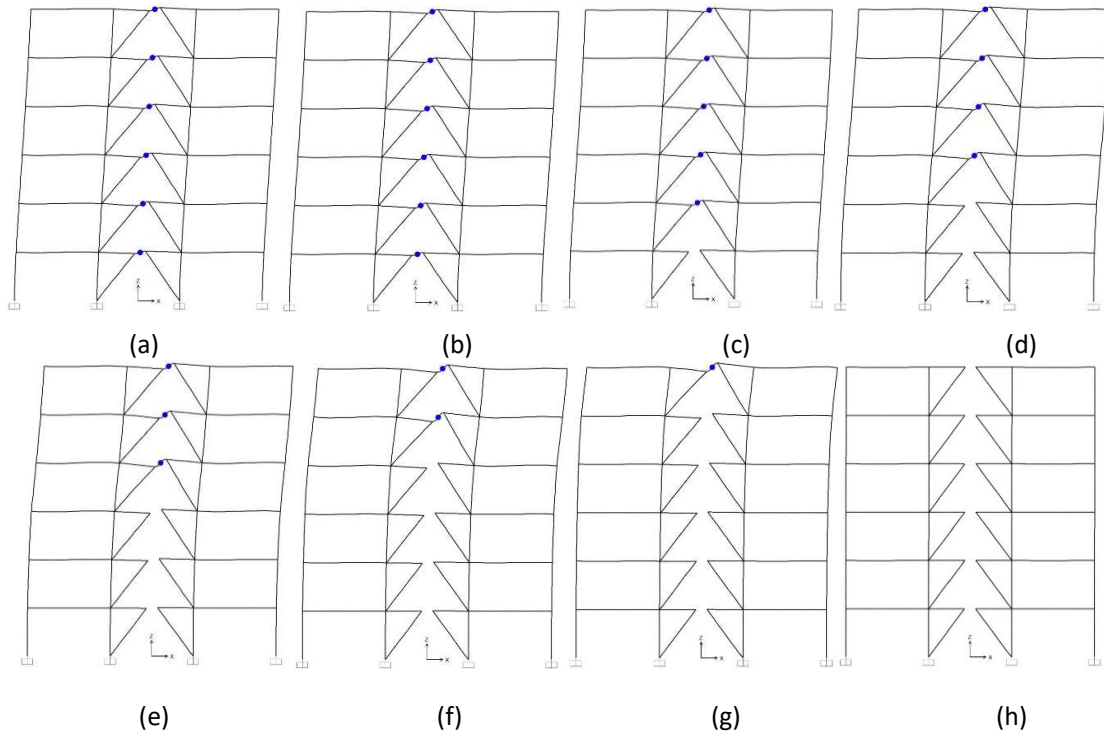


Figura 17. Etapele procedurii de eliminare a linkurilor și re-centrare a structurii

Cea mai ușoară modalitate din punct de vedere tehnic de a elimina eforturile din barele disipative este prin tăierea cu flacăra a inimii și a tălpilor barei disipative (Stratan et al., 2012) în cazul în care se produc deplasări laterale permanente mari sau prin deșurubare în caz contrar, nivel cu nivel (Ioan et al., 2012), așa cum s-a dovedit în cadrul procedurii adoptate pentru specimenul experimental din cadrul proiectului DUAREM (2014).

Procedura este similară și pentru celelalte trei structuri investigate.

## 9 Concluzii

În urma proiectării elastice a celor patru cadre, s-a observat că utilizarea linkurilor scurte demontabile în soluția unei îmbinări cu placă de capăt extinsă, permite adoptarea unor lungimi mai mari pentru acestea, ceea ce duce la obținerea unor cadre mai ductile (a se vedea Figura 18), cu drifturi laterale mai mari, lucru care indică posibilitatea adoptării unui factor de comportare mai mare de 4, dar și deteriorarea mai extinsă a plăcii din beton armat.

Utilizarea unor linkuri scurte demontabile cu placă de capăt extinsă mai lungi, conduce la creșterea eforturilor de calcul ale îmbinării, necesitând înlocuirea profilelor HEA, cu profile IPE mai înalte, pentru grinzile EBF.

S-au realizat analize statice neliniare pentru a valida capacitatea de re-centrare a cadrelor studiate și a descrie procedura de eliminare a linkurilor.

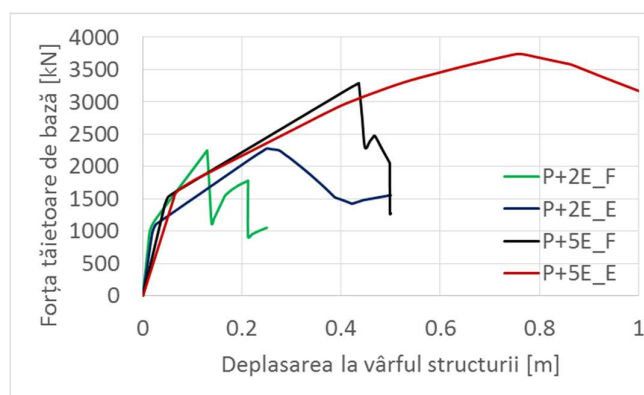


Figura 18. Comportarea structurilor investigate.

Cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile este să nu apară curgeri în alte elemente (în afară de linkuri), înainte de atingerea deformației ultime din barele disipative. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului după eliminarea, pe rând, a linkurilor deteriorate.

Folosirea linkurilor cu placă de capăt extinsă face mai dificilă izolarea deformațiilor plastice doar în linkuri (până la atingerea deformației ultime la SLU a acestora - 0,14 rad), în cazul validării capacității de re-centrare. Această dificultate a fost depășită prin utilizarea unui oțel de înaltă rezistență în cadrele MRF. Cu toate acestea, la clădiri mai înalte (P+5E\_E), cu linkuri scurte de lungimi considerabile (1,6m), nici această soluție nu este de ajuns, capacitatea de re-centrare putând fi asigurată doar până la o rotire mai mică (0,07 rad).

## Bibliografie

ASCE/SEI 41, 2013 - Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings;

DUAREM, 2014. Full-scale experimental validation of dual eccentrically braced frame with removable links - TA Project Final Report – G. Sabau, M. Plojansek, F. Taucer, D. Tirelli, A. Ioan, A. Stratan, D. Dubina, 2014;

EN1990, 2002, Eurocode, Basis of structural design, CEN, European Committee for Standardization;

EN1991-1-1, 2002, Eurocode 1, Actions on structures - Part 1-1: General actions Densities, self-weight, imposed loads for buildings, CEN, European Committee for Standardization;

EN 1993-1-8, 2004. Eurocode 3: Proiectarea structurilor din oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor. Bruxelles: Comisia Europeană de Normalizare (CEN);

EN1998-1-1, 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1, General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN, In: Proceedings of the European committee for standardization;

Ioan, A., Stratan, A., Dubină, D. (2012). Evaluation of restoring capacity of dual steel EBFs with removable links. The 8th International PhD & DLA Symposium, 29-30 October, Pecs, Hungary;

SAP2000, CSI, Computers and Structures Inc., [www.csiberkeley.com](http://www.csiberkeley.com);

Stratan A., Dinu F., Dubină D. (2010). "Replacement of bolted links in dual eccentrically braced frames", 14th European Conference on Earthquake Engineering, August 30 – September 3, Ohrid, Republic of Macedonia;

Stratan, A., Ioan, A., Dubină, D. (2012). Re-centring capability of dual eccentrically braced frames with removable bolted links. STESSA 2012 (Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas) Conference, 9-11 January, Santiago, Chile, pp. 723-728;

Stratan A., Chesoaan A. și Dubină D., 2017. Design criteria and modelling of re-centering dual eccentrically braced frames, COMPDYN 2017, Rodos, Grecia, 15-17 iunie.