



Proiectarea și eficiența economică a
structurilor din oțel cu contravântuiri cu
flambaj împiedicat

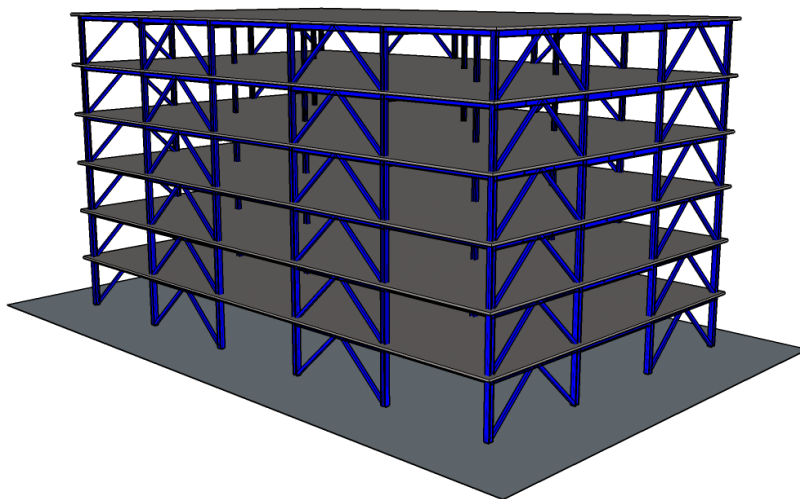
Cuprins

- ▶ **Proiectarea unei structuri din oțel cu contravântuiri de tip BRB**
 - ▶ Exemplu de calcul
- ▶ **Evaluarea eficienței tehnico-economice a cadrelor cu BRB-uri**
 - ▶ Studiu de caz

Proiectarea unei structuri din oțel cu contravântuiri de tip BRB

Exemplu de calcul

Date generale despre structură

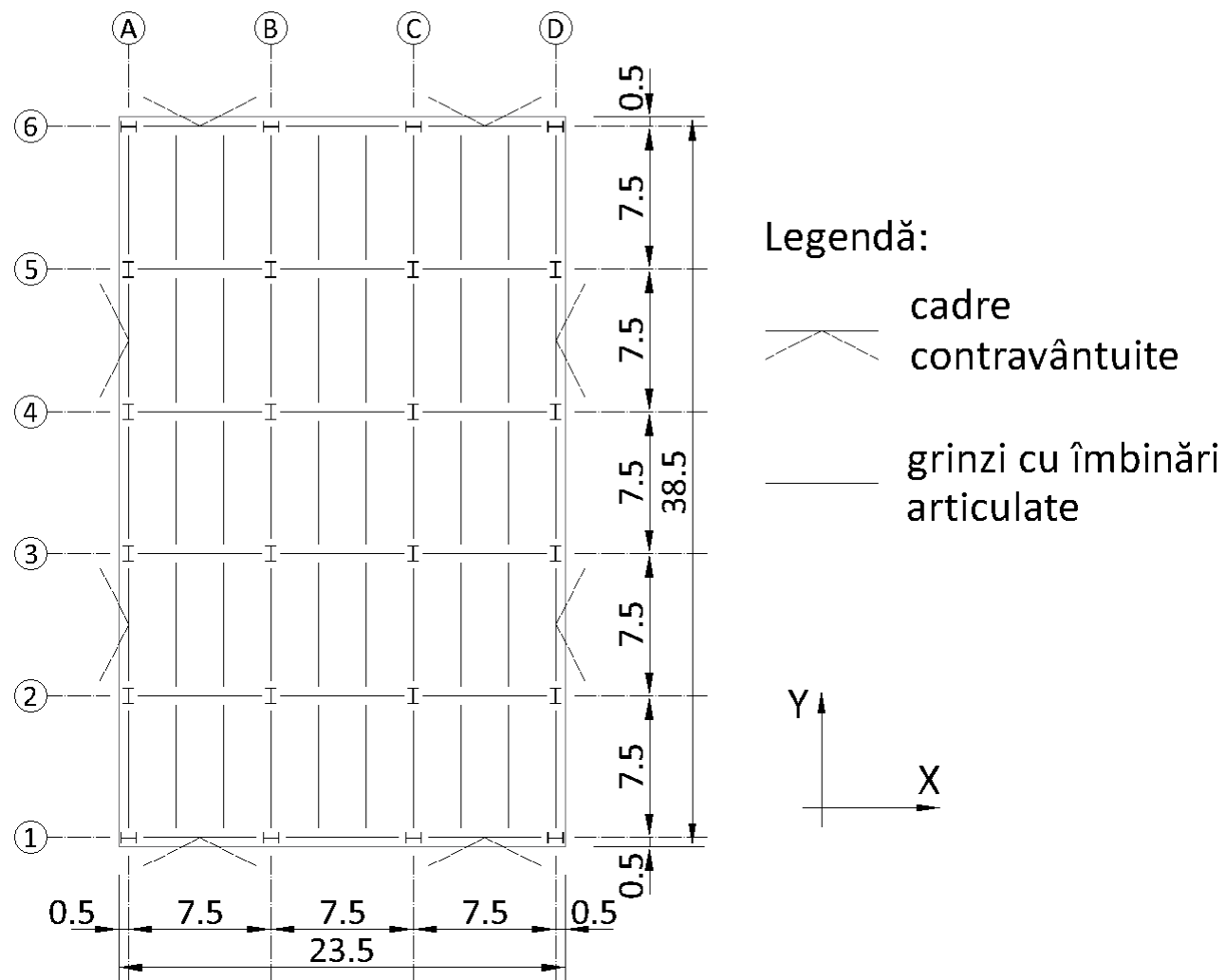


- ▶ Schema spațială a structurii este prezentată în figură.
- ▶ Caracteristici generale:
 - ▶ Amplasament: București
 - ▶ Regim de înălțime: P + 5E
 - ▶ Înălțime totală: $H = 21.00\text{m}$
- ▶ Planșeul din beton armat (b.a.) pe cofraj pierdut din tablă cutată reazemă pe un sistem de grinzi secundare și principale articulate, realizate în soluție compusă oțel-beton.
- ▶ Sistemul de preluare a încărcărilor laterale este compus din cadre contravântuite centric în V inversat dispuse perimetral pe direcția X și pe direcția Y în axele marginale

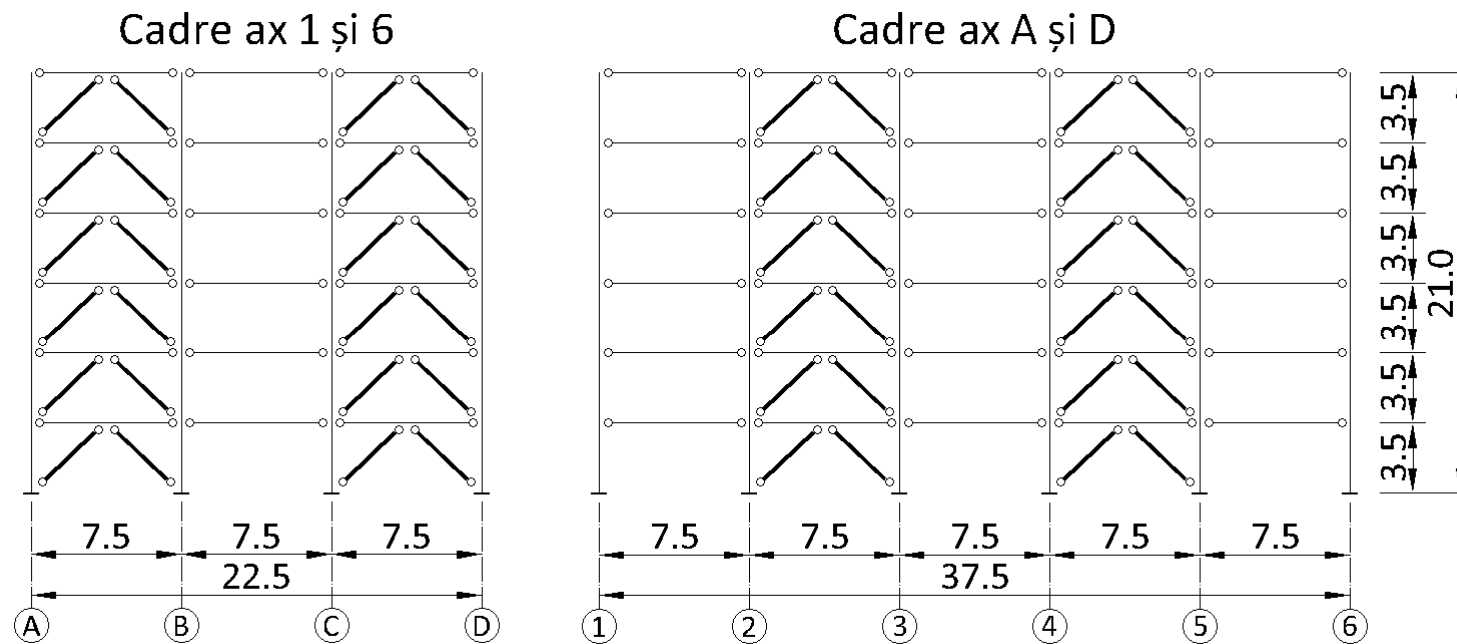
Caracteristici structură

- ▶ Dimensiunea în plan: 38,50 x 23,50 m
- ▶ Deschideri în plan: 3 x 7,50m pe o direcție și 5 x 7,50 m pe cealaltă direcție
- ▶ Placă în consolă din axul grinzii marginale: 50 cm
- ▶ Suprafață de nivel: 904,75 m²
- ▶ Înălțimea de nivel: 3,50 m
- ▶ Destinația: spații de birouri
- ▶ Clasa III de importanță și expunere conform Tabelului 4.2 din P100-1/2013
- ▶ Elementele structurii de rezistență se confecționează din profile laminate dublu T, din oțel **S355**
- ▶ Componentele nestructurale atașate structurii sunt realizate din materiale cu capacitate mare de deformare, astfel încât valoarea admisibilă a deplasării relative de nivel la starea limită de serviciu este de **0,0075 h** , unde h este înălțimea de nivel

Plan etaj curent



Elevații cadre contravântuite



Baza normativă

- ▶ CR0 - 2012 - Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor;
- ▶ SR EN 1991-1-1:2004 Acțiuni asupra construcțiilor: Acțiuni generale - Greutăți specifice, greutate proprii, încărcări utile pentru clădiri;
- ▶ P100-1/2013 Cod de proiectare seismică. Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri;
- ▶ SR EN 1993-1-1 Proiectarea structurilor de oțel. Reguli generale și reguli pentru clădiri;
- ▶ SR EN 1993-1-3 Proiectarea structurilor de oțel. Reguli suplimentare pentru elemente structurale și table formate la rece;
- ▶ SR EN 1993-1-5 Proiectarea structurilor de oțel. Elemente structurale din plăci plane sollicitate în planul lor;
- ▶ SR EN 1993-1-8 Proiectarea structurilor de oțel. Proiectarea îmbinărilor;

Încărcări gravitaționale

- ▶ Încărcarea permanentă pe planșeele curente (finisaje, instalații, tavan fals):

$$G_{k1} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

- ▶ Încărcarea permanentă pe acoperiș (finisaje, instalații, tavan fals):

$$G_{k2} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

- ▶ Încărcarea permanentă din pereții exteriori (fațadă):

$$G_{k3} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

- ▶ Greutatea proprie a structurii metalice și a planșeelor din b.a. pe cofraj pierdut din tablă cutată a fost inclusă în calcul automat prin programul de calcul.

- ▶ Încărcarea utilă pe planșeele curente (categoria de utilizare B), inclusiv încărcarea echivalentă din pereții de compartimentare ușori, conform SR EN 1991-1-1 și SR EN 1991-1-1/NA:

$$Q_{k1} = 2,5 \text{ kN/m}^2 + 0,8 \text{ kN/m}^2 = 3,3 \text{ kN/m}^2$$

- ▶ Încărcarea utilă pe acoperiș (terasă circulabilă, categoria de utilizare I), conform SR EN 1991-1-1 și SR EN 1991-1-1/NA:

$$Q_{k2} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Acțiunea seismică de proiectare

- ▶ Structura nefiind sensibilă la componenta verticală a acțiunii seismice (vezi paragraful 4.5.3.6.2 din P100-1/2013), se iau în calcul doar cele două componente orizontale. Acestea sunt descrise prin spectre de răspuns elastic pentru accelerații:

$$S_e(T) = a_g \cdot \beta(T)$$

- ▶ Accelerația de vârf a terenului pentru proiectare: $a_g = 0,3 \cdot g$
- ▶ Spectrul normalizat de răspuns elastic pentru accelerații $\beta(T)$ este definit de relațiile (3.3)-(3.6) din P100-1/2013 în funcție de factorul de amplificare dinamică $\beta_0 = 2,5$ și de perioadele de control: $T_B = 0,32 \text{ s}$; $T_C = 1,60 \text{ s}$; $T_D = 2,00 \text{ s}$
- ▶ Cadre cu contravânturi cu flambaj împiedicat, clasa H de ductilitate: $q = 6,0$

Modelul structural

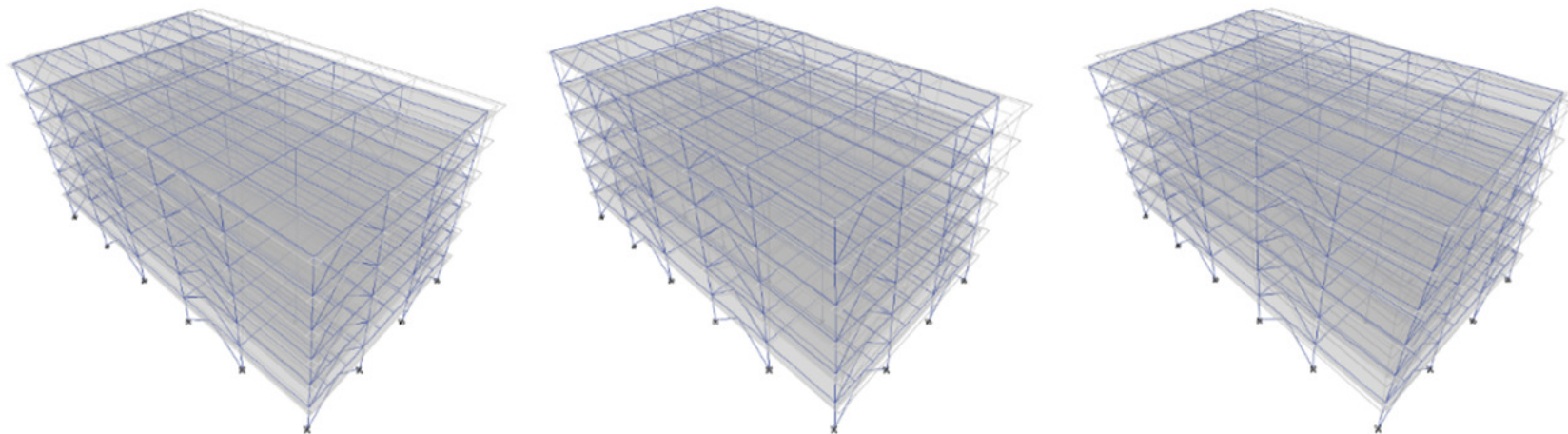
- ▶ Structura a fost analizată folosind un model spațial într-un program de calcul comercial.
- ▶ S-a considerat efectul de diafragmă rigidă asigurat de planșeele de beton armat.
- ▶ Stâlpii perimetrali au fost încadrați la bază, iar stâlpii centrali au fost articulați la bază.
- ▶ Încărcările gravitaționale au fost aplicate pe planșee (încărcările permanente și utile) și pe grinzile perimetrare (încărcarea din pereți exteriori).
- ▶ Masele structurii au fost calculate automat din încărcările gravitaționale aplicate pe structură.

Profilele utilizate și dimensiunile miezului diagonalelor BRB

Nivel	Grinzi secundare	Grinzi principale	Grinzi cadru contravântuit	Stâlpi centrali	Stâlpi cadru contravântuit	Secțiune diagonale
6	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 280 B	15 x 50
5	IPE 220	IPE 400	HE 320 A	HE 260 B	HE 280 B	20 x 65
4	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 B	HE 280 M	25 x 70
3	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 M	HE 280 M	30 x 70
2	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 M	HE 300 M	30 x 80
1	IPE 220	IPE 400	HE 400 A	HE 260 M	HE 300 M	30 x 75

Modurile proprii de vibrație

Mod	T (s)	$M_{n,x}^*$ (%)	$M_{n,y}^*$ (%)	$\Sigma M_{n,x}^*$ (%)	$\Sigma M_{n,y}^*$ (%)
1	0,946	76,58	0,00	76,58	0,00
2	0,946	0,00	76,60	76,58	76,60
3	0,600	0,00	0,00	76,58	76,60
4	0,362	14,82	0,00	91,40	76,60
5	0,362	0,00	14,84	91,40	91,44
6	0,231	0,00	0,00	91,40	91,44



Primele trei moduri proprii de vibrație ale structurii

Imperfecțiunile globale

- ▶ Deoarece nu este îndeplinită condiția $H_{Ed} \geq 0,15V_{Ed}$ pe nici una din cele două direcții orizontale, rezultă necesitatea modelării imperfecțiunilor globale pentru analiza structurii
- ▶ Conform paragrafului 5.3.2 din SR EN 1993-1-1, imperfecțiunile globale pot fi modelate printr-un sistem de forțe laterale echivalente H_i .
- ▶ $\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = 0,002635$
- ▶ Forțele laterale echivalente H_i de la nivelul i , calculate în funcție de încărcările gravitaționale totale P_i de la același nivel și imperfecțiunea globală inițială ϕ rezultă:

Nivel	P_i (kN)	H_i (kN)
6	7 182,4	18,926
5	14 174,8	37,351
4	21 286,2	56,089
3	28 455,0	74,979
2	35 683,6	94,026
1	42 900,0	113,041

Efectele de ordinul 2

- ▶ Importanța efectelor de ordinul doi este dată de valoarea coeficientului de sensibilitate al deplasării relative de nivel, θ , determinat conform 4.6.2.2(2) din P100-1/2013:

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

- ▶ Valoarea maximă a coeficientului de sensibilitate la efectele de ordinul doi:

$$\theta = 0,121$$

- ▶ Pentru $0,1 < \theta \leq 0,2$, efectele de ordinul doi trebuie luate în calcul, multiplicând valorile de calcul ale efectelor acțiunii seismice cu factorul:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \theta} = 1,137$$

Combinații de încărcări pentru situația seismică de proiectare

Combinațiile de încărcări ce includ efectul imperfecțiunilor globale și al efectelor de ordinul 2:

- ▶ Pentru verificarea la SLU a elementelor disipative:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i} + \alpha A_{Ed} + I_{x,y} \quad \text{S-SLU-DIS}$$

- ▶ Pentru verificarea la SLU a elementelor nedisipative:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i} + \alpha \Omega_T A_{Ed} + I_{x,y} \quad \text{S-SLU-NDIS}$$

- ▶ Deplasările structurii pentru verificarea la SLU:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i} + \alpha c q A_{Ed} + I_{x,y} \quad \text{S-SLU-DEP}$$

- ▶ Deplasările structurii pentru verificarea la SLS:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i} + \alpha c q A_{Ed} + I_{x,y} \quad \text{S-SLS-DEP}$$

Dimensionarea miezului BRB-urilor

- ▶ Datorită prevenirii flambajului global al miezului contravântuirii, **verificarea elementelor disipative (BRB-urilor)** la SLU în situația seismică de proiectare constă într-o simplă verificare de rezistență a secțiunii:

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

unde:

- ▶ A – aria secțiunii transversale a miezului de oțel;
- ▶ f_y – limita de curgere a oțelului;
- ▶ γ_{M0} – coeficient parțial de siguranță.

Observație: În faza finală de proiectare se poate adopta valoarea experimentală a limitei de curgere furnizată de producător, $f_{y,m}$ în locul valorii nominale f_y .

- ▶ Capacitatea corectată la compresiune (P100-1/2013, cap. 6.11.2(2)):

$$C_{max} = \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \cdot A_p$$

- ▶ Capacitatea corectată la întindere (P100-1/2013, cap. 6.11.2(3)):

$$T_{max} = \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \cdot A_p$$

Dimensionarea miezului BRB-urilor

- ▶ Dimensionarea BRB-ului va avea în vedere limitarea deformațiilor axiale specifice în miezul BRB-ului la valori validate experimental. Pe baza încercărilor experimentale de precalificare a BRB-urilor din cadrul proiectului IMSER, se recomandă limitarea deformațiilor specifice în miezul BRB-ului corespunzătoare deplasării relative de nivel de la SLU (ε_b^{SLU}) la $\varepsilon_{b,Rd} = 2\%$

$$\varepsilon_b^{SLU} = \frac{d_r^{SLU} \cdot \cos \alpha}{L_p} \leq \varepsilon_{b,Rd} = 2\%$$

unde

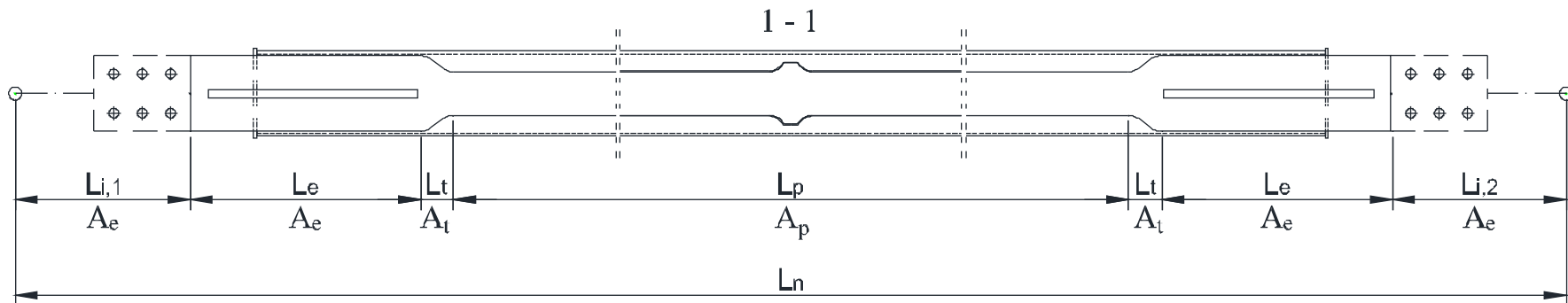
- ▶ d_r^{SLU} – deplasarea relativă de nivel la SLU;
- ▶ Unde
- ▶ d_r^{SLU} – deplasarea relativă de nivel la SLU;
- ▶ α – unghiul format de contravântuire cu orizontala
- ▶ L_p – lungimea zonei plastice a miezului BRB-ului

Rigiditatea BRB-urilor

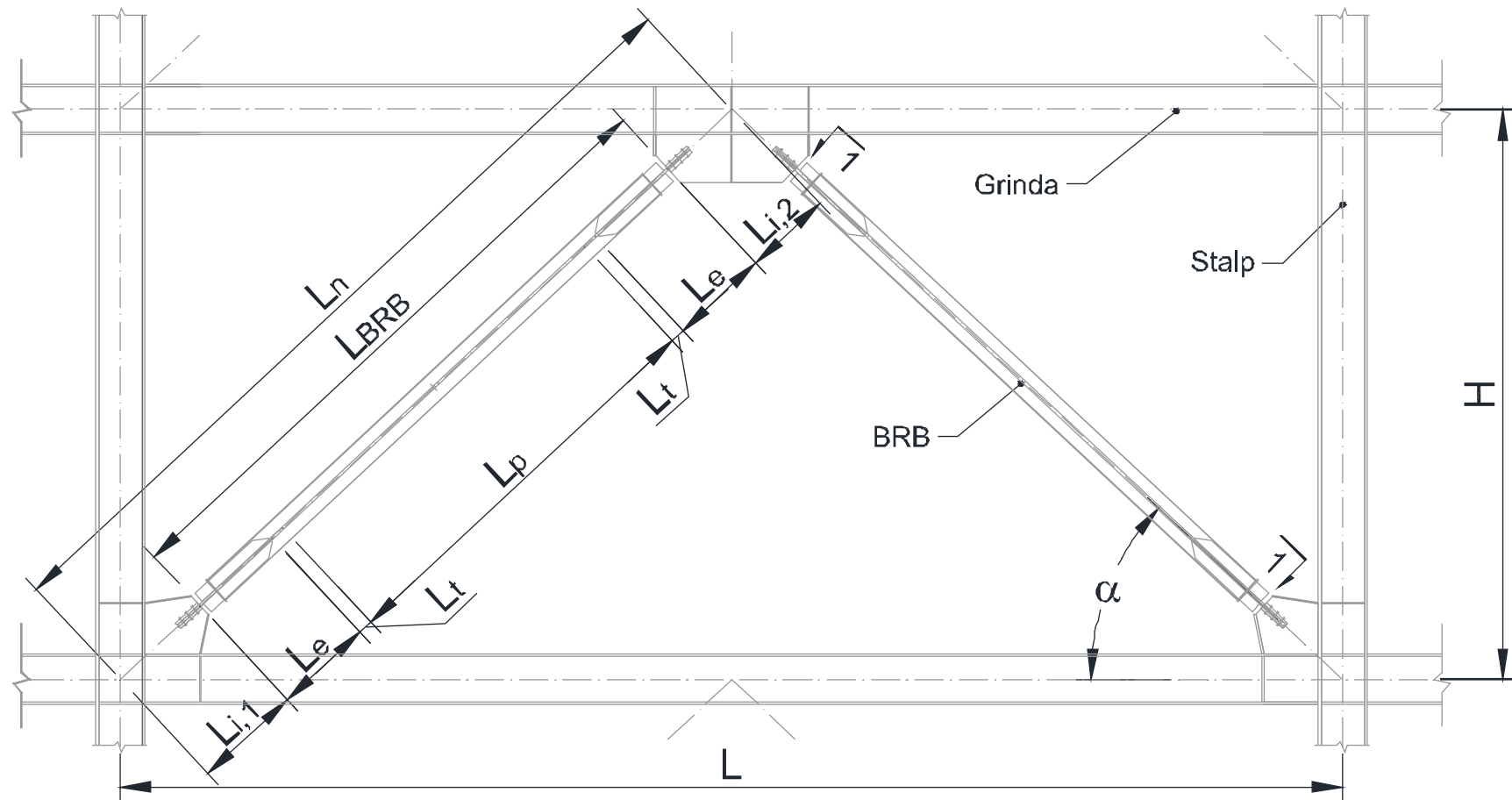
- Datorită faptului că miezul BRB-urilor este compus din câteva segmente cu secțiuni diferite, rigiditatea efectivă a BRB-ului K_{ef} se determină ca inversa sumei flexibilității segmentelor componente (rigiditatea echivalentă a unor resoarte dispuse în serie), Tsai et al., 2004:

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

- unde: K_i – rigiditatea zonei de îmbinare; K_e – rigiditatea zonei elastice; K_t – rigiditatea zonei de tranziție; K_p – rigiditatea zonei plastice
- Rigiditatea necesară a diagonalelor se poate obține din condiția de respectare a deplasării relative de nivel corespunzătoare stării limită de serviciu (SLS)



Cadrul contravântuit cu BRB-uri



Modelarea BRB-urilor

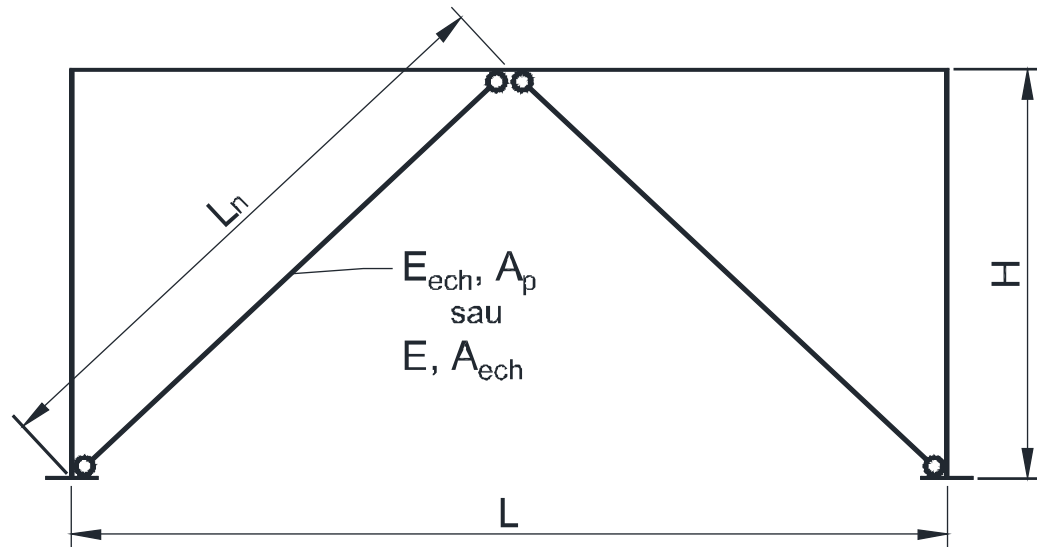
- ▶ În vederea modelării BRB-urilor pentru calculul structural elastic, se utilizează schema din figură, în care se consideră BRB-ul având secțiunea transversală constantă. Pentru a ține cont de faptul că aria secțiunii transversale variază de-a lungul îmbinării și BRB-ului, rigiditatea echivalentă a barei de secțiune constantă trebuie corectată prin multiplicare cu factorul k :

$$k = K_{ech} / (E \cdot A_p / L_n)$$

- ▶ Practic, acest lucru se poate realiza fie modificând modulul de elasticitate al oțelului atribuit secțiunii, fie modificând aria secțiunii transversale:

$$E_{ech} = k \cdot E \text{ sau}$$

$$A_{ech} = k \cdot A_p$$



Observații legate de modelarea BRB-urilor

- ▶ Structura poate fi predimensionată pe baza unor valori orientative ale rigidității efective și a factorilor de suprarezistență.
- ▶ În final aceste valori trebuie specificate / corectate de fabricantul dispozitivelor. Chiar dacă rigiditatea BRB-ului poate fi determinată analitic relativ direct pe baza geometriei acesteia, factorii de suprarezistență ai acestuia, ω și $\omega\beta$, trebuie specificați de fabricant pe baza încercărilor experimentale. Cei din urmă variază în funcție de mai mulți factori, printre care dimensiunea și natura stratului neaderent, dimensiunile și proporțiile miezului, tipul și caracteristicile materialului miezului, etc.
- ▶ Pentru predimensionare, pe baza încercărilor experimentale de pre-calificare a BRB-urilor efectuate în cadrul proiectului IMSER, se pot alege orientativ valori ai factorilor de suprarezistență de $\omega=1.45$ și $\omega\beta=1.7$, precum și o rigiditate efectivă de $K_{ef} = 1.5EA_p/L_n$.

Suprarezistența sistemului structural

- ▶ La calculul eforturilor în componentele nedisipative ale structurii se folosește suprarezistența sistemului structural, determinată conform 6.11.5(1) din P100-1/2013 cu relația:

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

▶ unde:

▶ $\Omega^N = \min_{1 \leq i \leq n} \Omega_i^N$, iar

▶ $\Omega_i^N = N_{pl,Rd,i} / N_{Ed,i}$.

- ▶ Pentru a asigura o distribuție uniformă deformațiilor plastice în structură și un mecanism plastic global, diferența dintre valorile maxime și minime ale raportului Ω_i^N (pe fiecare direcție a structurii) trebuie să fie cel mult 25%.
- ▶ A rezultat, acoperitor, pentru toată structura, un factor de suprarezistență $\Omega_T = 2,35$.

Observație: În faza finală de proiectare, dacă rezistența BRB-urilor a fost obținută folosind valoarea experimentală a limitei de curgere furnizată de producător ($f_{y,m}$) se poate considera $\gamma_{ov} = 1,0$. Această opțiune permite reducerea eforturilor de calcul în componentele nedisipative proporțional cu valoarea factorului de suprarezistență γ_{ov}

Verificarea stâlpilor

Verificarea la flambaj din încovoiere și compresiune

- ▶ Stâlpii se verifică conform relațiilor (6.61) și (6.62) din SR EN 1993-1-1:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

Verificarea la forță tăietoare:

- ▶ Conform SR EN 1993-1-1 verificarea la forță tăietoare este:

$$V_{z,Ed}/V_{z,pl,Rd} \leq 1$$
$$V_{y,Ed}/V_{y,pl,Rd} \leq 1$$

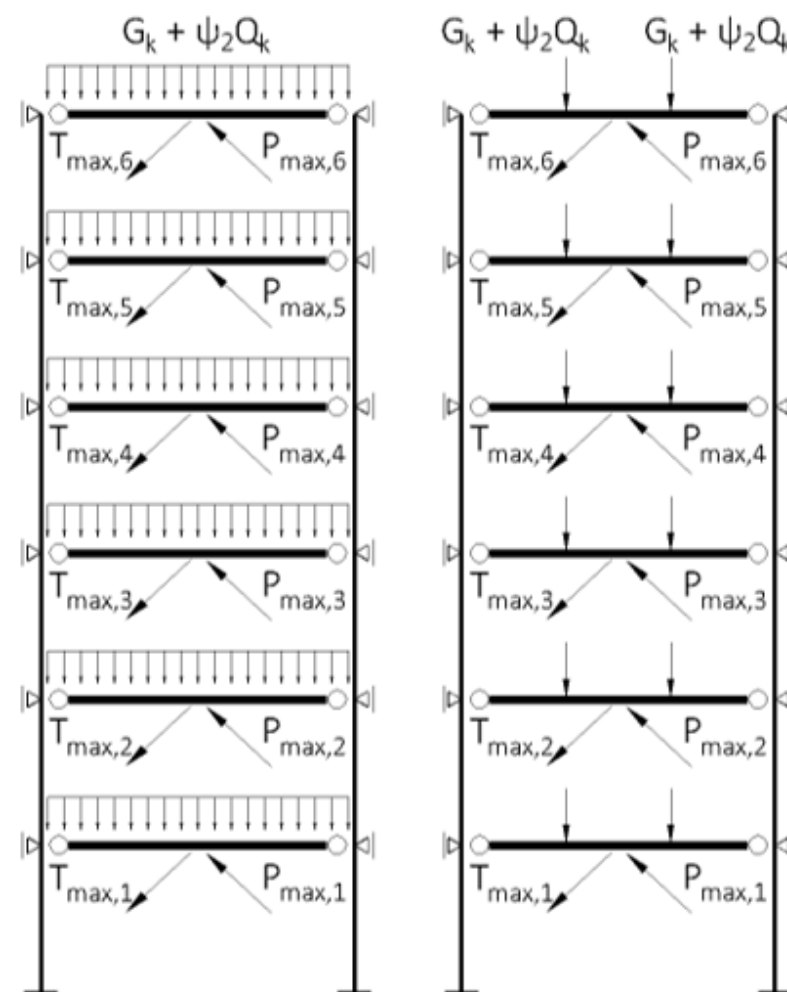
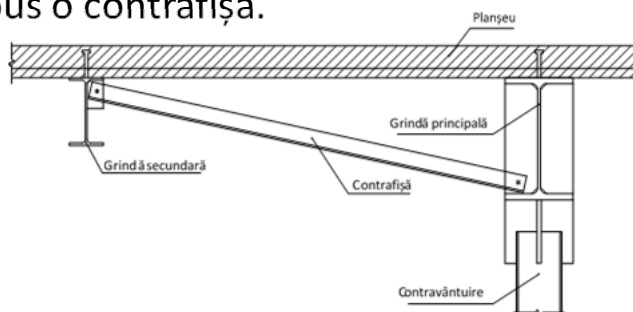
- ▶ Ținând cont de faptul că raportul dintre forța tăietoare de calcul și rezistența de calcul la forfecare a secțiunii a rezultat mai mică de 0.5, nu a fost necesară considerarea interacțiunii dintre încovoiere și forfecare

Observație:

Verificarea de zveltețe a stâlpilor pentru cadrele contravântuite cu diagonale cu flambaj împiedicat nu este prevăzută în P100-1/2013.

Verificarea grinzilor cadrului contravântuit (1/2)

- ▶ Conform paragrafului 6.11.3(2)(a) din P100-1/2013, grinzile cadrelor contravântuite centric în V inversat trebuie proiectate în ipoteza că diagonalele nu contribuie la preluarea încărcărilor gravitaționale, iar pentru combinațiile care includ acțiunea seismică, efectul contravântuirii asupra grinzii, exprimat printr-o forță verticală și una orizontală, se determină pe baza rezistenței corectate la întindere și compresiune a BRB-urilor.
- ▶ Conform paragrafului 6.11.3(2)(b) din P100-1/2013, în secțiunea de intersecție cu diagonalele, grinda trebuie prevăzută, atât la talpa superioară cât și la talpa inferioară, cu legături laterale. La talpa superioară legăturile laterale sunt asigurate de planșeul de beton armat și conectori, iar la talpa inferioară s-a dispus o contrafișă.



Verificarea grinzilor cadrului contravântuit (2/2)

Verificarea la flambaj din încovoiere și compresiune

- ▶ Grinda se verifică la efectul combinat al efortului axial și momentului încovoiător conform relațiilor (6.61) și (6.62) din SR EN 1993-1-1, după cum cere P100-1/2013, paragraful 6.7.4(1):

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

- ▶ Ținând cont de legătura laterală de la mijlocul grinzii, lungimea de flambaj a grinzii pentru flambajul prin încovoiere-răsucire și flambaj prin încovoiere s-a considerat egală cu jumătate din lungimea ei

Verificarea la forță tăietoare

- ▶ Conform SR EN 1993-1-1 verificarea la forță tăietoare este:

$$V_{z,Ed}/V_{z,pl,Rd} \leq 1.0$$

- ▶ Ținând cont de faptul că raportul dintre forța tăietoare de calcul și rezistența de calcul la forfecare a secțiunii a rezultat mai mică de 0.5, nu a fost necesară considerarea interacțiunii dintre încovoiere și forfecare.

Îmbinările elementelor disipative

- ▶ **Îmbinările elementelor disipative (BRB-urilor)** trebuie proiectate conform secțiunii 6.11.6 din P100-1/2013 astfel încât să nu se plasticizeze sub efectul forței maxime care poate fi dezvoltată în miezul din oțel, majorată cu 10%:

$$R_d \geq 1.1 \cdot \beta \cdot \omega \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \cdot A$$

- ▶ Calculul îmbinării trebuie să ia în considerare flambajul local și global. Acest lucru se poate face prin calculul guseului îmbinării la o forță transversală similară cu cea dezvoltată în timpul încercărilor sau prin dispunerea unor rigidizări pe guseu. Dacă se adoptă îmbinare grindă-stâlp de tip articulată, aceasta trebuie să permită o rotire de cel puțin 0.025 rad.

Observație: În faza finală de proiectare, dacă rezistența BRB-urilor a fost obținută folosind valoarea experimentală a limitei de curgere furnizată de producător ($f_{y,m}$), produsul $\gamma_{ov} \cdot f_y$ se poate înlocui cu valoarea experimentală a limitei de curgere furnizată de producător, $f_{y,m}$. Această opțiune permite reducerea efortului de proiectare în îmbinări proporțional cu valoarea factorului de suprarezistență γ_{ov}

Verificarea deplasărilor la SLS și ULS

- ▶ Verificarea deplasărilor la SLS se efectuează conform prevederilor paragrafului 4.5.4(2) și secțiunii E.1 din P100-1/2013.
- ▶ Pentru componentele nestructurale din materiale cu capacitate mare de deformare, valoarea admisă a deplasării relative de nivel la SLS este $d_{r,a}^{SLS} = 0,0075h$.
- ▶ Valoarea admisă a deplasării relative de nivel la SLU este $d_{r,a}^{SLS} = 0,025h$.
- ▶ Situația ce mai defavorabilă se regăsește la nivelul 6:

$$d_r^{SLS} = 0,0063h \leq d_{r,a}^{SLS} = 0,0075h \rightarrow \text{verifică}$$
$$d_r^{ULS} = 0,0178h \leq d_{r,a}^{ULS} = 0,025h \rightarrow \text{verifică.}$$

Concluzii

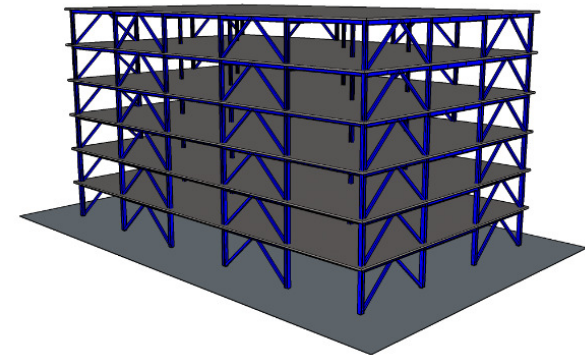
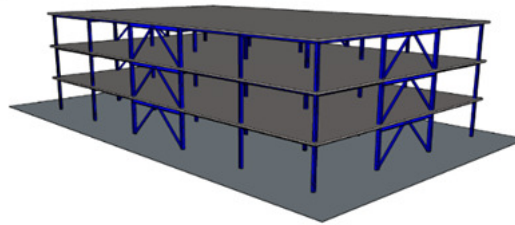
- ▶ Proiectarea structurii este dictată de cerințele de rezistență.
- ▶ Dimensionarea BRB-urilor se face din 3 condiții:
 - ▶ Rigiditate, determinată de limitarea deplasării relative de nivel la SLS
 - ▶ Capacitate, determinată de forțele tăietoare de nivel
 - ▶ Limitare a alungirii specifice a miezului BRB-urului, determinată de valorile precalificate de către producătorul BRB-urilor
- ▶ În faza finală de proiectare, dacă rezistența BRB-urilor a fost obținută folosind valoarea experimentală a limitei de curgere furnizată de producător ($f_{y,m}$) se poate considera $\gamma_{ov} = 1,0$. Această opțiune permite reducerea eforturilor de calcul în componentele nedisipative proporțional cu valoarea factorului de suprarezistență γ_{ov}

Evaluarea eficienței tehnico-economice a cadrelor cu BRB-uri

Studiu de caz

Studiu de caz

- ▶ Obiectiv: analiza eficienței cadrelor cu BRB-uri în comparație cu alte sisteme structurale
- ▶ Sistemul de preluare a încărcărilor laterale:
 - ▶ Cadre necontravântuite (MRF)
 - ▶ Cadre contravântuite centric (CBF)
 - ▶ Cadre cu contravântuiri cu flambaj împiedicat (BRBF)
 - ▶ Cadre duale cu contravântuiri cu flambaj împiedicat (D-BRBF)
- ▶ Regimul de înălțime:
 - ▶ Jos (P+2E)
 - ▶ Mediu (P+5E)
- ▶ Amplasament:
 - ▶ București: $a_g = 0,3 \text{ g}$ și $T_c = 1,6 \text{ s}$
 - ▶ Timișoara: $a_g = 0,2 \text{ g}$ și $T_c = 0,7 \text{ s}$



Studiu de caz

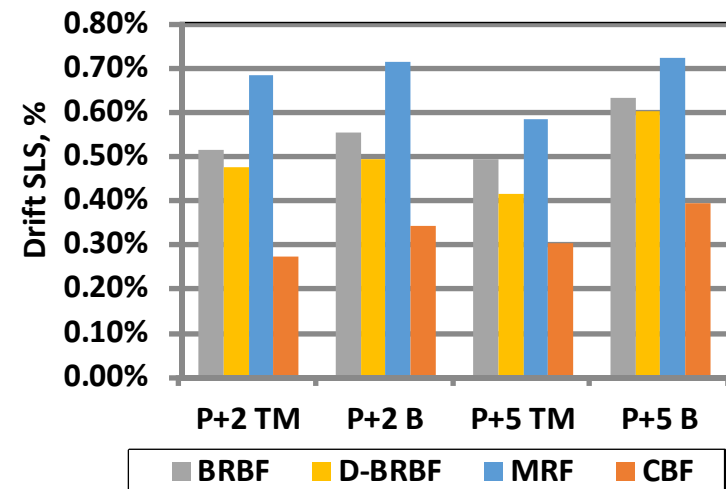
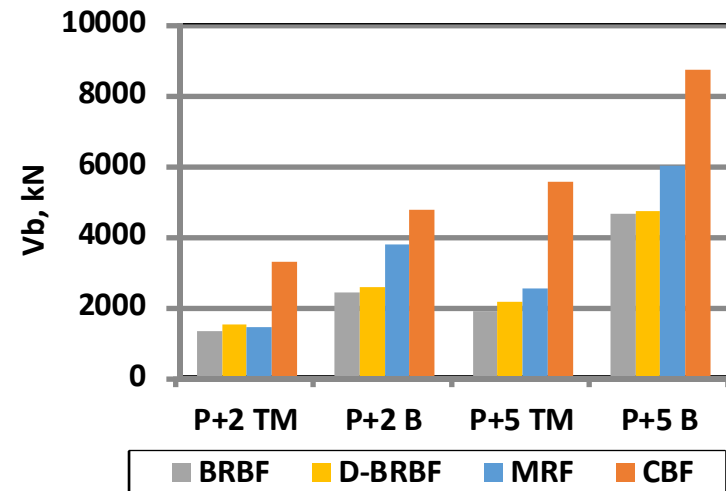
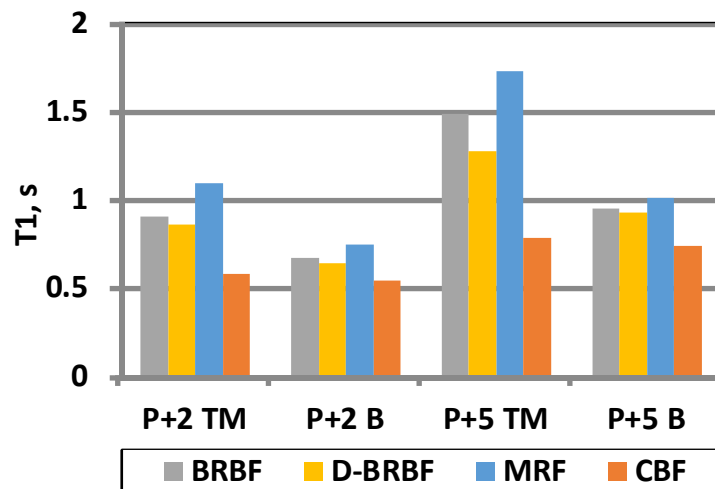
- ▶ Dimensiunea în plan: 38.50 x 23.50 m
- ▶ Deschideri în plan:
 - ▶ 3 x 7.50m pe o direcție și
 - ▶ 5 x 7.50 m pe cealaltă direcție;
- ▶ Înălțimea de nivel: 3.50 m
- ▶ Destinația: spații de birouri
- ▶ Clasa III de importanță și expunere conform P100-1/2013
- ▶ Clasa de ductilitate: H
- ▶ Limitarea deplasărilor relative de nivel la SLS: 0.0075h

Înălțime	Amplasament	BRBF	D-BRBF	CBF	MRF
Joasă (P+2E)	Timișoara, $T_C = 0,7s$	BL07	DBL07	CBL07	ML07
	București, $T_C = 1,6s$	BL16	DBL16	CBL16	ML16
Medie (P+5E)	Timișoara, $T_C = 0,7s$	BM07	DBM07	CBM07	MM07
	București, $T_C = 1,6s$	BM16	DBM16	CBM16	MM16

Analiza criteriilor de proiectare

► Structurile MRF:

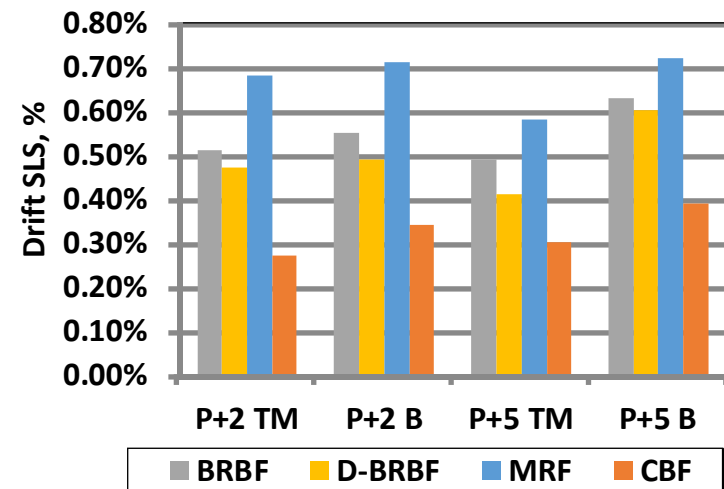
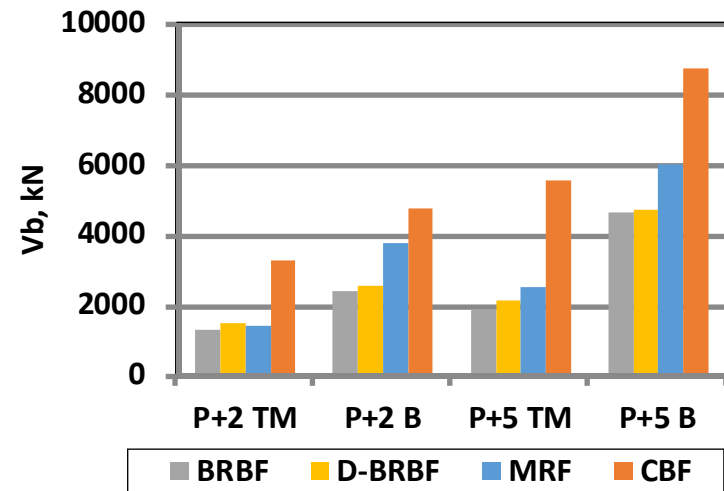
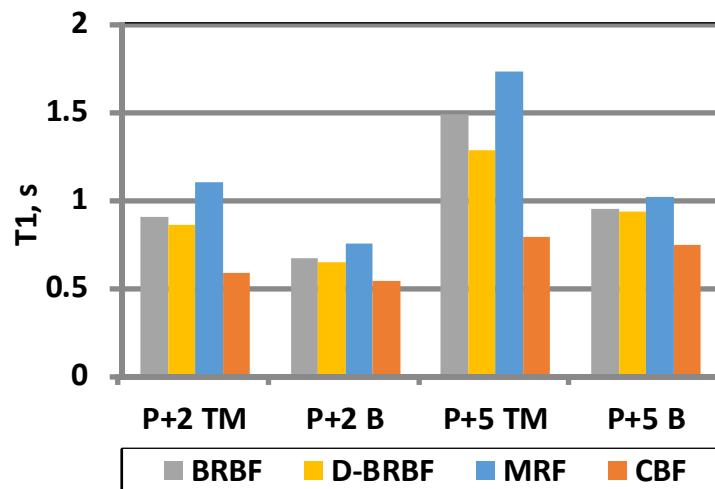
- Sensibile la cerințele de limitare a deplasărilor la SLS și SLU, precum și la limitarea efectelor de ordinul doi la SLU ($q=3.5 - 5$)
- Forțe seismice de calcul medii



Analiza criteriilor de proiectare

► Structurile CBF:

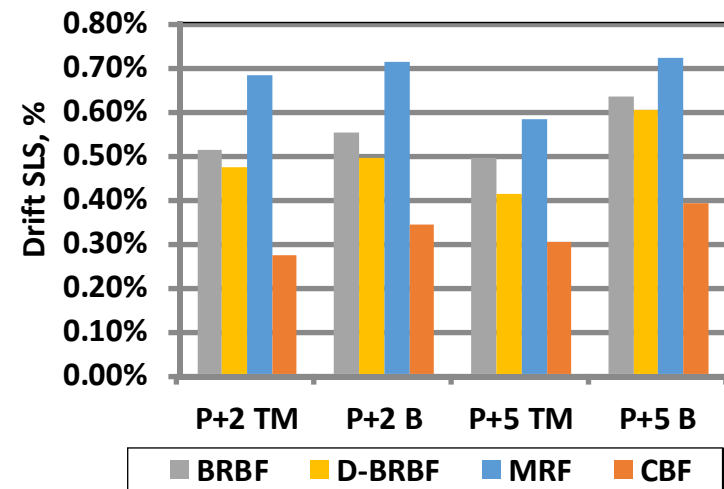
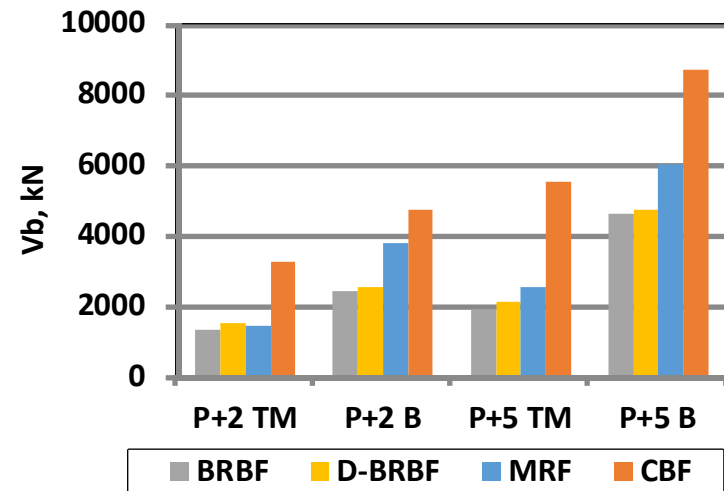
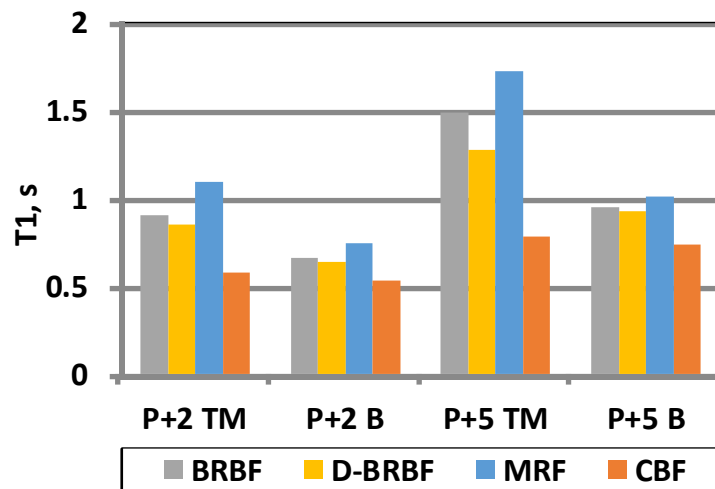
- Rigiditate ridicată
- Forțe seismice de calcul ridicate ($q = 2,5$)
- Proiectare dictată de cerințele de rezistență



Analiza criteriilor de proiectare

► Structurile BRBF și D-BRBF:

- O poziție intermediară în ceea ce privește rigiditatea
- Forțe seismice de calcul reduse ($q = 6$)
- Proiectare dictată de cerințele de rezistență



Evaluare tehnico-economică

Evaluarea tehnico-economică s-a realizat pe baza consumului defalcat de material stabilit în urma proiectării celor 16 structuri.

Defalcarea s-a realizat în:

- ▶ Elemente seismice:
 - ▶ Grinzi;
 - ▶ Stâlpi;
 - ▶ Diagonale simple;
 - ▶ Diagonale BRB;
- ▶ Elemente gravitaționale:
 - ▶ Grinzi;
 - ▶ Stâlpi;
- ▶ Piese mărunte (îmbinări);
- ▶ Plăci:
 - ▶ Tablă cutată;
 - ▶ Beton armat.

Costuri considerate

- ▶ Costurile medii materiale + manoperă:
 - ▶ Confecții metalice: 1,6 €/kg
 - ▶ Beton armat: 160 €/m³
 - ▶ Tablă cutată: 1,0 €/kg
- ▶ Costul dispozitivelor BRB a fost stabilit prin extrapolare în funcție de capacitatea acestora exprimată în kN, astfel:

$$cost (euro) = 1,3 \cdot (N_{pl}) + 1300$$

Desfășurător structuri P+2E București

ELEMENTE		u.m.	STRUCTURĂ				
			BL16	DBL16	CBL16	ML16	
Elemente Seismice	Grinzi	tone	11,7	27,4	19,1	28,3	
		euro	18 687	43 904	30 517	45 300	
	Stâlpi	tone	7,8	19,0	11,9	46,7	
		euro	12 448	30 434	19 094	74 688	
	Diagonale	tone	-	-	4,8	-	
		euro	-	-	7 718	-	
	BRB-uri	buc.	24	24	-	-	
		euro	51 758	48 988	-	-	
	Total		euro	82 893	123 326	57 329	119 988
	Elemente Gravitaționale	Grinzi	tone	48,6	43,9	52,2	43,9
euro			77 728	70 178	83 504	70 178	
Stâlpi		tone	13,8	7,8	13,8	7,8	
		euro	22 048	12 448	22 048	12 448	
Total		euro	99 776	82 626	105 551	82 626	
Îmbinări / Suduri		tone	20,5	24,5	25,5	31,7	
	Total	euro	32 728	39 241	40 720	50 653	

Cost BRB-uri	euro	51 758	48 988	-	-
Cost Confecții Metalice	euro	163 639	196 205	203 601	253 267
Cost Structură Metalică	euro	215 396	245 193	203 601	253 267

Desfășurător structurii P+5E București

ELEMENTE		u.m.	STRUCTURĂ			
			BM16	DBM16	CBM16	MM16
Elemente Seismice	Grinzi	tone	41,6	66,2	74,1	95,5
		euro	66 610	105 853	118 527	152 730
	Stâlpi	tone	59,3	49,7	74,2	98,5
		euro	94 801	79 551	118 716	157 674
	Diagonale	tone	-	-	19,5	-
		euro	-	-	31 124	-
	BRB-uri	buc.	96	96	-	-
		euro	195 619	187 562	-	-
	Total		euro	357 031	372 967	268 366
Elemente Gravitaționale	Grinzi	tone	96,1	87,7	96,1	87,7
		euro	153 682	140 356	153 682	140 356
	Stâlpi	tone	22,3	22,3	22,3	22,3
		euro	35 656	35 656	35 656	35 656
	Total		euro	189 338	176 012	189 338
Îmbinări / Suduri		tone	54,8	56,5	71,5	76,0
	Total	euro	87 687	90 354	114 426	121 604

Cost BRB-uri	euro	195 619	187 562	-	-
Cost Confecții Metalice	euro	438 437	451 771	572 130	608 020
Cost Structură Metalică	euro	634 056	639 333	572 130	608 020

Desfășurător structuri P+2E Timișoara

ELEMENTE		u.m.	STRUCTURĂ				
			BL07	DBL07	CBL07	ML07	
Elemente Seismice	Grinzi	tone	8,8	23,1	17,5	20,8	
		euro	14 015	36 957	27 955	33 222	
	Stâlpi	tone	6,0	15,6	8,6	41,0	
		euro	9 600	24 949	13 819	65 616	
	Diagonale	tone	-	-	4,2	-	
		euro	-	-	6 792	-	
	BRB-uri	buc.	24	24	-	-	
		euro	42 015	40 430	-	-	
	Total		euro	65 630	102 336	48 566	98 838
	Elemente Gravitaționale	Grinzi	tone	48,6	43,9	52,2	43,9
euro			77 728	70 178	83 504	70 178	
Stâlpi		tone	13,8	7,8	13,8	7,8	
		euro	22 048	12 448	22 048	12 448	
Total		euro	99 776	82 626	105 551	82 626	
Îmbinări / Suduri		tone	19,3	22,6	24,1	28,4	
	Total	euro	30 848	36 133	38 529	45 366	

Cost BRB-uri	euro	42 015	40 430	-	-
Cost Confecții Metalice	euro	154 239	180 665	192 647	226 830
Cost Structură Metalică	euro	196 253	221 095	192 647	226 830

Desfășurător structuri P+5E Timișoara

ELEMENTE		u.m.	STRUCTURĂ			
			BM07	DBM07	CBM07	MM07
Elemente Seismice	Grinzi	tone	35,0	51,5	69,9	69,6
		euro	56 061	82 374	111 821	111 337
	Stâlpi	tone	32,8	35,5	52,3	38,3
		euro	52 464	56 798	83 690	61 267
	Diagonale	tone	-	-	19,3	-
		euro	-	-	30 889	-
	BRB-uri	buc.	96	96	-	-
		euro	152 255	152 393	-	-
Total		euro	260 780	291 566	226 399	172 604
Elemente Gravitaționale	Grinzi	tone	96,1	71,5	96,1	75,6
		euro	153 682	114 373	153 682	120 924
	Stâlpi	tone	22,3	22,3	22,3	22,3
		euro	35 656	35 656	35 656	35 656
	Total		euro	189 338	150 029	189 338
Îmbinări / Suduri		tone	46,5	45,2	65,0	51,4
	Total	euro	74 466	72 300	103 934	82 296

Cost BRB-uri	euro	152 255	152 393	-	-
Cost Confecții Metalice	euro	372 329	361 502	519 671	411 481
Cost Structură Metalică	euro	524 584	513 895	519 671	411 481

Costuri adiționale din planșee

Structuri P+2E:

Placi Beton Cofraj Pierdut	Tablă Cutată	<i>tone</i>	28,5	28,5	28,5	28,5
		<i>euro</i>	28 508	28 508	28 508	28 508
	Beton Armat	<i>mc</i>	317,8	317,8	317,8	317,8
		<i>euro</i>	50 854	50 854	50 854	50 854
	Total	<i>euro</i>	79 362	79 362	79 362	79 362

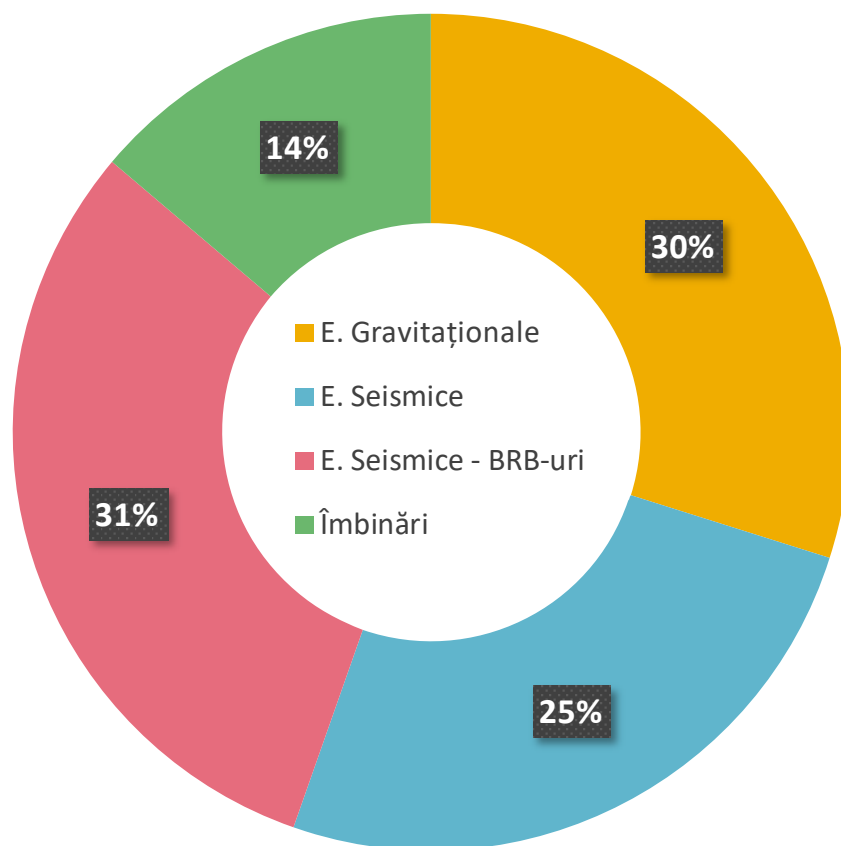
Structuri P+5E:

Placi Beton Cofraj Pierdut	Tablă Cutată	<i>tone</i>	57,0	57,0	57,0	57,0
		<i>euro</i>	57 016	57 016	57 016	57 016
	Beton Armat	<i>mc</i>	635,7	635,7	635,7	635,7
		<i>euro</i>	101 708	101 708	101 708	101 708
	Total	<i>euro</i>	158 724	158 724	158 724	158 724

Comparativ repartizare costuri elemente structurale (fără planșee) – București

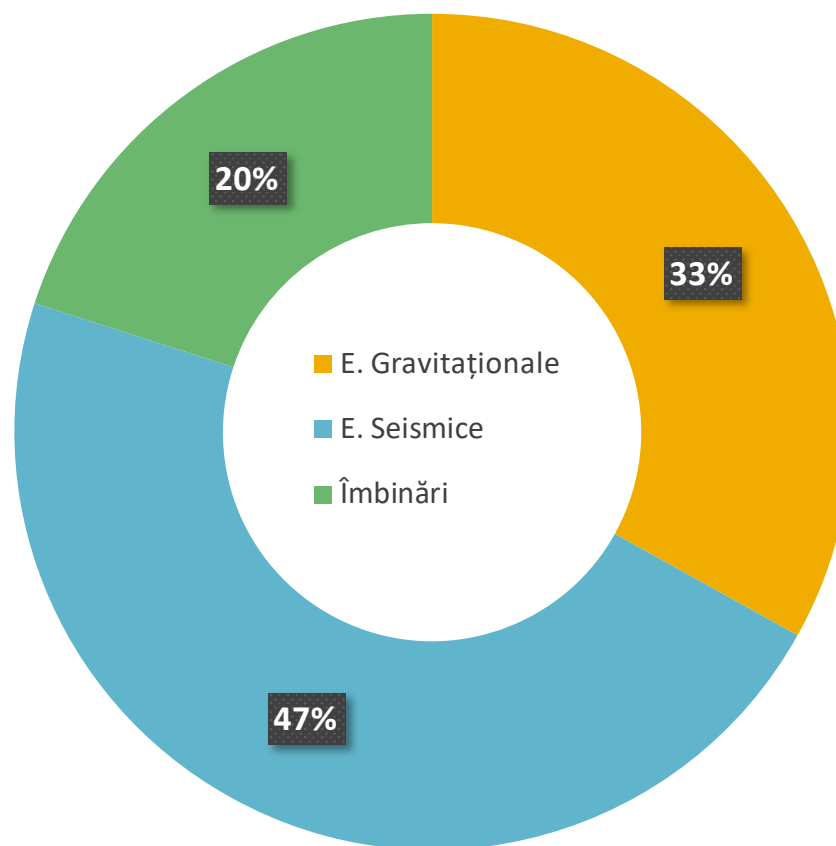
BM16 – București P+5E BRBF

634 000 euro



CBM16 – București P+5E CBF

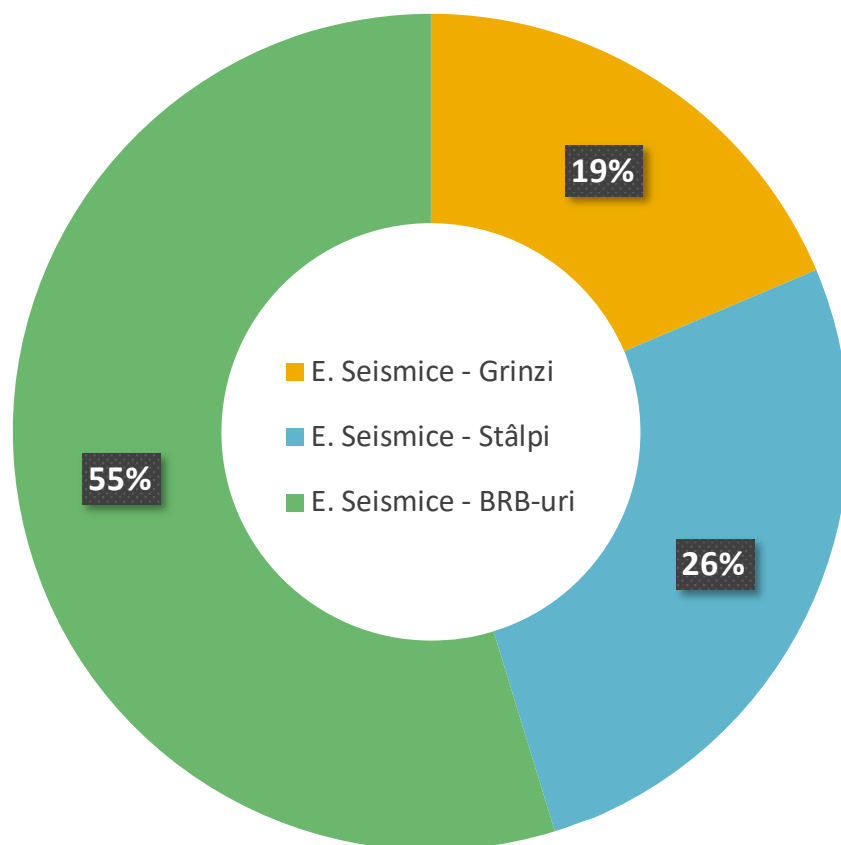
572 000 euro



Comparativ repartizare costuri elemente ce participă la preluarea forțelor seismice – Buc.

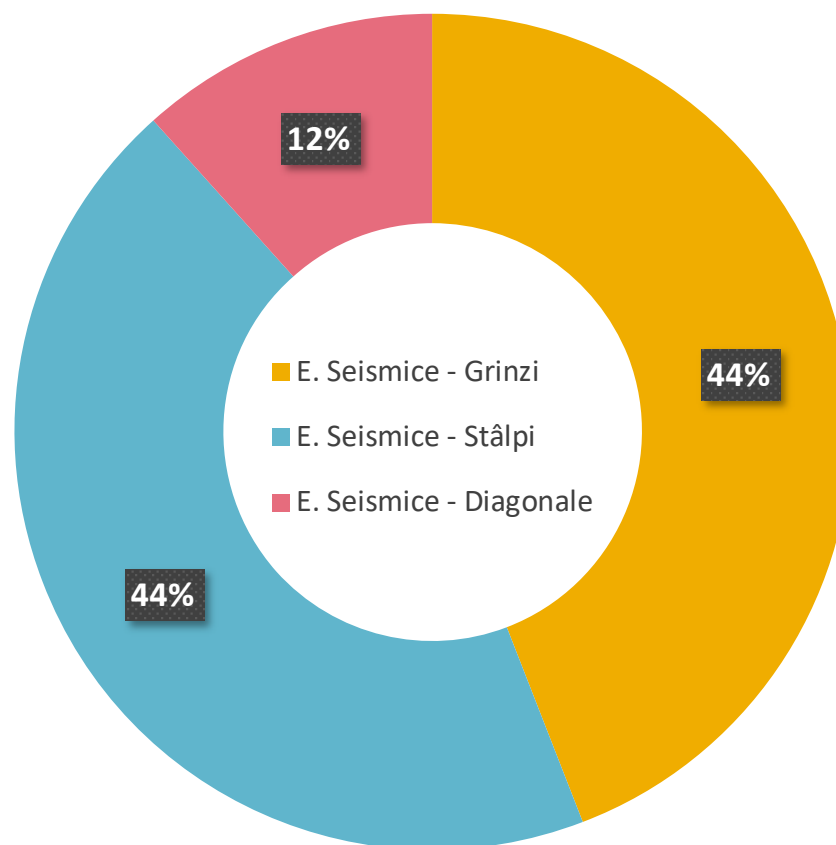
BM16 – București P+5E BRBF

357 000 euro



CBM16 – București P+5E CBF

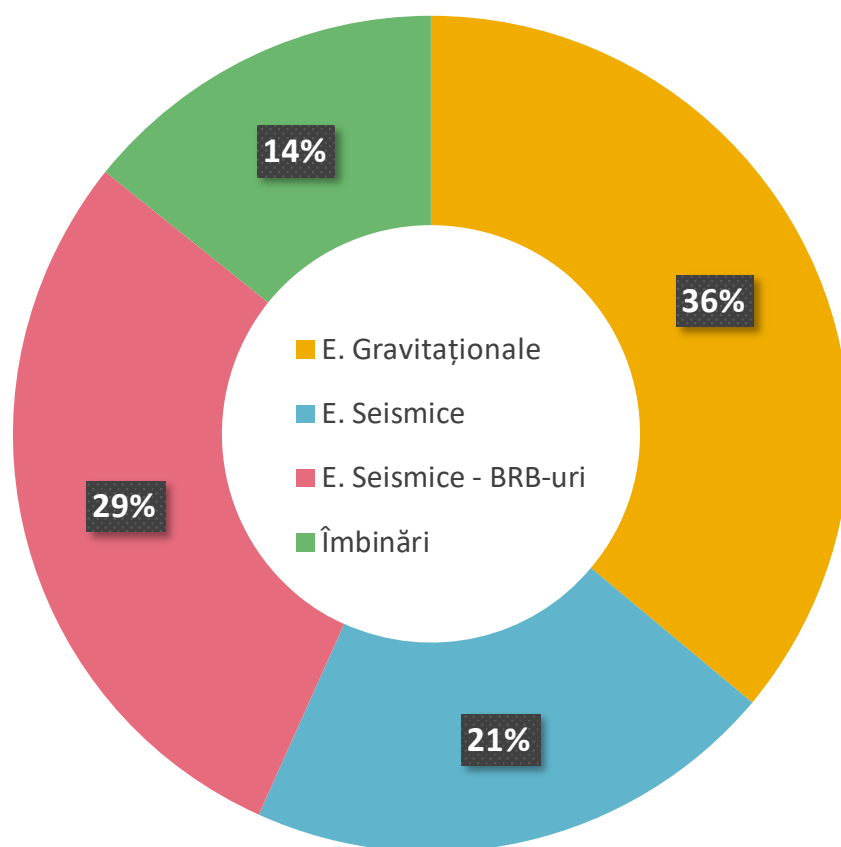
268 000 euro



Comparativ repartizare costuri elemente structurale (fără planșee) – Timișoara

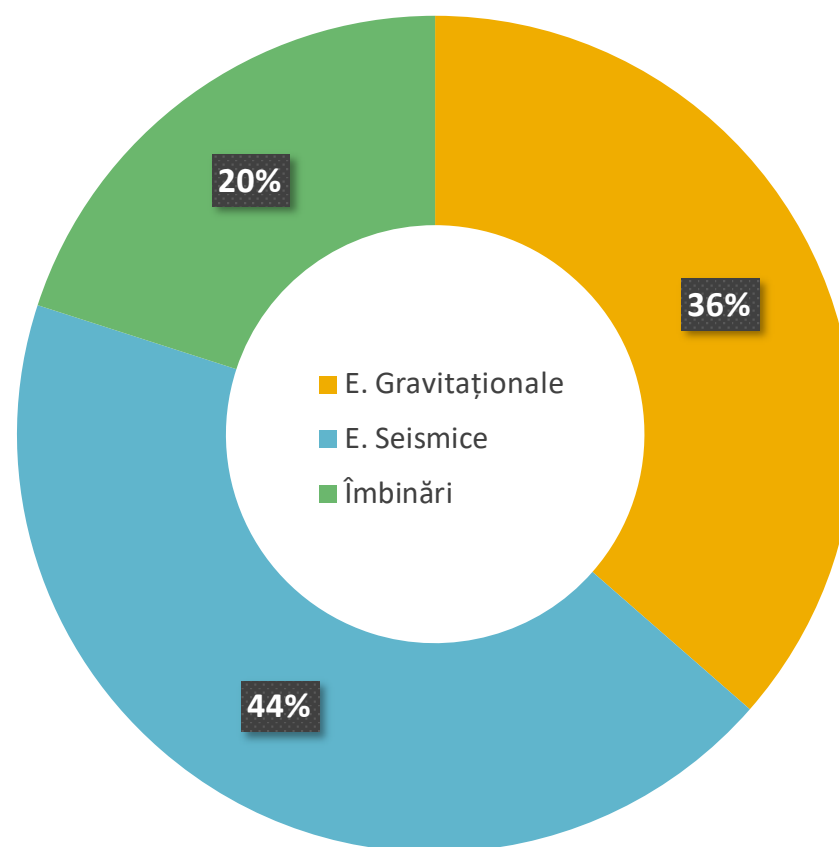
BM07 – Timișoara P+5E BRBF

525 000 euro



CBM07 – Timișoara P+5E CBF

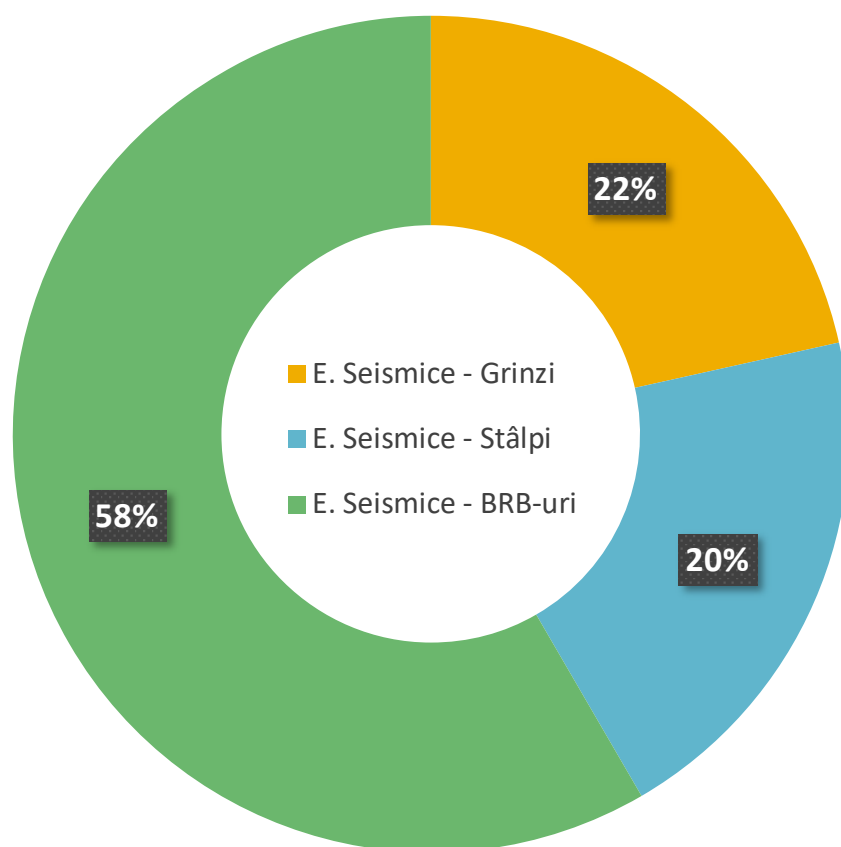
520 000 euro



Comparativ repartizare costuri elemente ce participă la preluarea forțelor seismice – Tim.

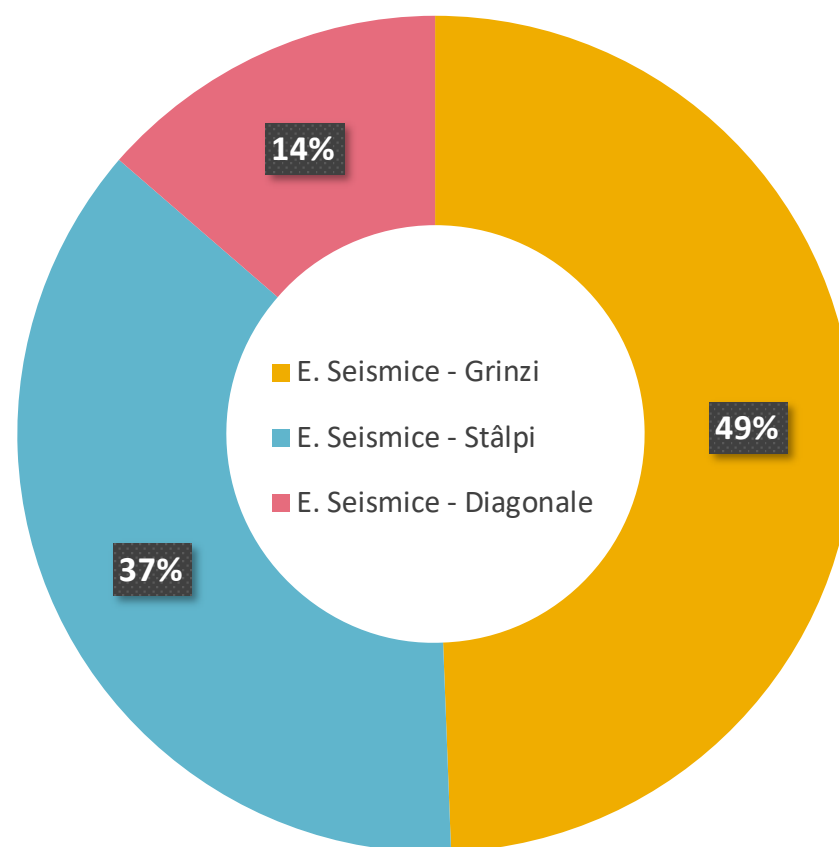
BM07 – Timișoara P+5E BRBF

261 000 euro



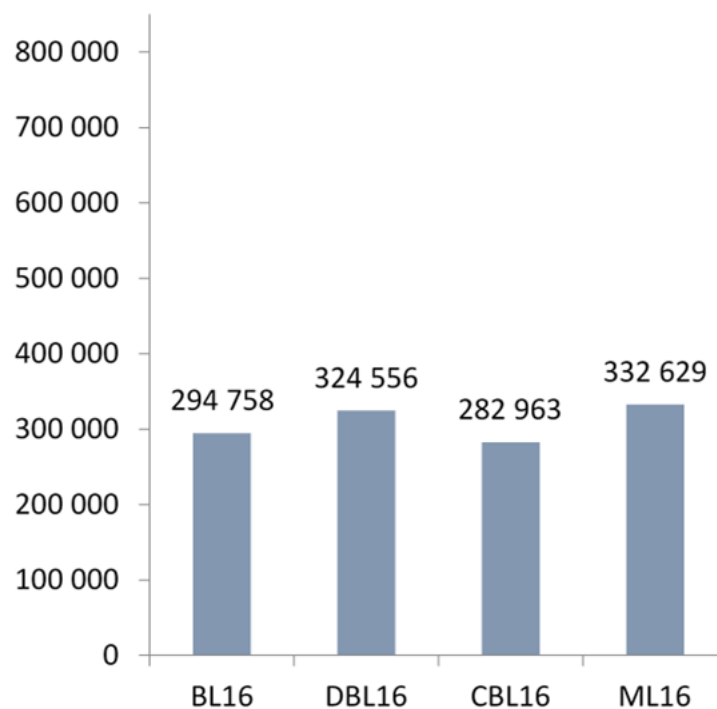
CBM07 – Timișoara P+5E CBF

226 000 euro

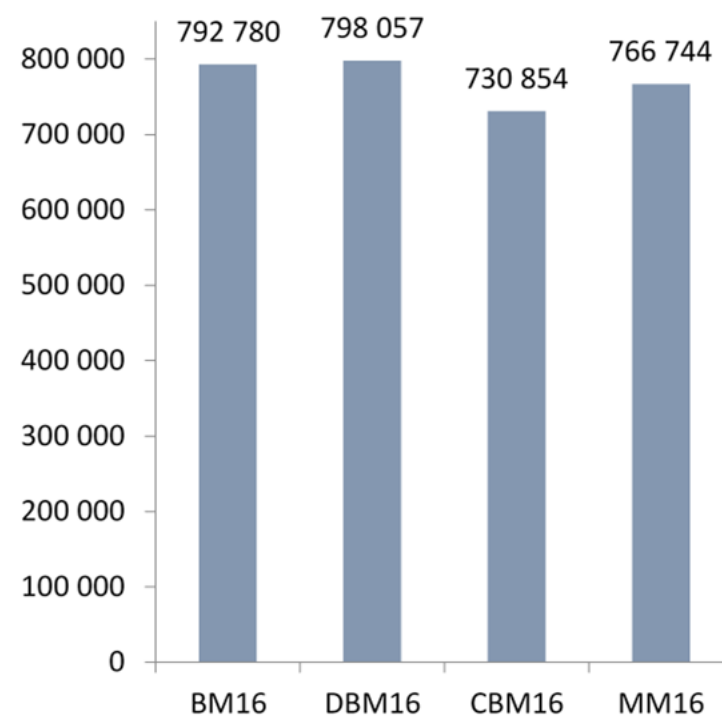


Costuri totale structuri București

București P+2

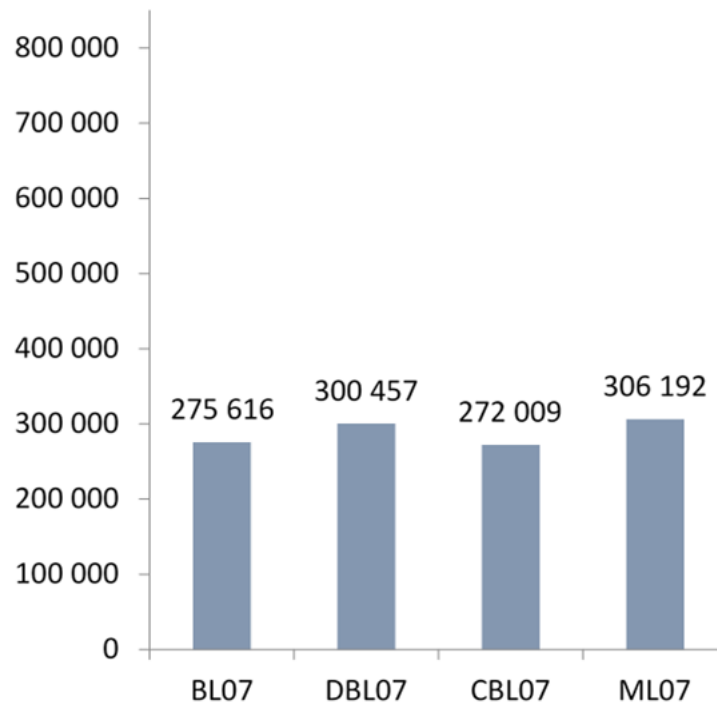


București P+5

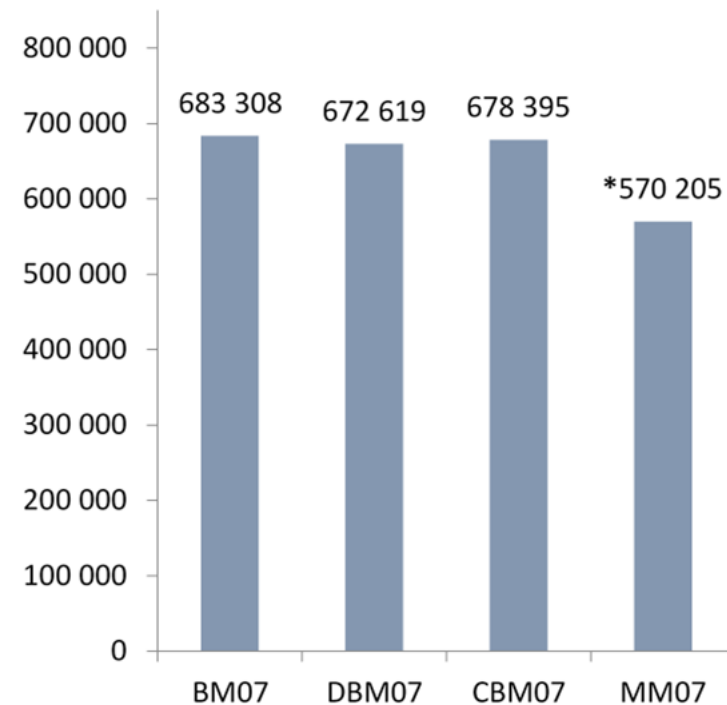


Costuri totale structuri Timișoara

Timișoara P+2



Timișoara P+5



Observații

- ▶ La estimarea costului suprastructurilor a fost prevăzută o cotă de 25% din greutatea totală a elementelor pentru îmbinări și piese mărunte. În situația dimensionării propriu-zise a acestora, ponderea îmbinărilor nu ar fi constată, ea fiind mai redusă în cazul structurilor BRBF față de CBF
- ▶ S-a constatat că în cazul structurilor care utilizează BRB-uri, ponderea costului acestora în costul total al suprastructurii este relativ constant (aprox. 15% pentru Timișoara și 23% pentru București)
- ▶ Comparând suprastructurile tip BRBF cu cele CBF, se constată că în toate situațiile acestea sunt mai ridicate ca valoare a costului. Diferența este însă destul de redusă:
 - ▶ 1% (Timișoara P+2)
 - ▶ 4% (București P+2)
 - ▶ 8% (București P+5)
 - ▶ 0% (Timișoara P+5)

Observații

- ▶ Proiectarea imobilelor a luat în calcul doar suprastructura acestora, neglijând infrastructura. Se apreciază că în urma unei dimensionări corespunzătoare a infrastructurii, avantajul ar fi de partea structurilor cu BRBF
- ▶ Structurile P+5E au avut două rânduri de contravânturi datorită limitărilor capacităților de testare. E de așteptat ca în cazul utilizării unui singur rând, similar cu structurile P+2E, să rezulte o soluție mai economică
- ▶ BRBF-urile au fost proiectate folosind f_y , iar elementele nedisipativele au fost proiectate folosind $\gamma_{ov} = 1.25$. Dacă se merge pe $f_{y,m}$ și $\gamma_{ov} = 1.00$, rezultă o altă sursă de economie

Concluzii

- ▶ Studiul de evaluare a eficienței tehnico-economice a utilizării cadrelor contravântuite cu BRB-uri confirmă faptul că folosirea acestora conduce la costuri comparabile ale suprastructurii imobilelor analizate, cu avantajul unei comportări mai bune.
- ▶ În plus, costul mai redus al fundațiilor determinat de utilizarea cadrelor contravântuite cu BRB-uri avantajează adoptarea soluțiilor tehnice cu BRB-uri, suplimentar față de comportarea structurală favorabilă determinată de acestea.



Mulțumesc pentru atenție