

# CONFORMAREA STRUCTURILOR METALICE LA ACȚIUNI SEISMICE ÎN CONCEȚIA NORMATIVULUI P100-1/2004 COMPARATIV CU PREVEDERILE EXISTENTE (P100-92)

*Șerban Dima<sup>1</sup>, Paul Ioan<sup>2</sup>, Helmuth Köber<sup>3</sup>, Daniel Bîtcă<sup>4</sup>*

## **Rezumat:**

Se prezintă pe scurt conceptul și metoda de proiectare ce stau la baza noului normativ de calcul la acțiuni seismice P100-1/2004. Sunt evidențiate noutățile privind dimensionarea structurilor metalice la acțiuni seismice cuprinse în noul normativ, comparativ cu normativul aflat încă în vigoare P100-92.

## **Abstract:**

The basic concept and design method of the new Romanian seismic design code P100-1/2004 are presented. The new prescriptions regarding the aseismic design of steel structures contained in code P100-1/2004 are underlined, compared to those included in P100-92 (the Romanian seismic design code in force).

## **1. Introducere:**

Cutremurele de pământ fac parte alături de uragane, inundații și incendii, din categoria celor mai distructive catastrofe naturale ce lovesc periodic omenirea. Evenimentele seismice majore ce au avut loc în țara noastră și la nivel mondial au condus la evoluția normelor de calcul la acțiuni seismice pe plan internațional (normele americane AISC și UBC, normele europene Eurocode 8, normele canadiene CSDPSS, normele japoneze JBL, etc.). Apariția normativului românesc P100-1/2004 se încadrează în acest proces. Totodată noul normativ românesc de calcul la acțiuni seismice corespunde Eurocodului 8 (PrEN 1998) ce face parte din seria de coduri europene de proiectare structurală, în curs de finalizare. P100-1/2004 reprezintă o versiune a prescripțiilor de proiectare seismică românești, care pregătește, printr-un efort paralel cu armonizarea celorlalte coduri structurale, realizarea unei ediții complet integrată în sistemul prescripțiilor de proiectare europene, odată cu intrarea acestora în vigoare.

## **2. Concepte de proiectare antiseismică:**

Un sistem structural poate prelua acțiunile dinamice (deci și pe cele seismice) în două moduri: fie prin capacitate mare de deformare postelastice, necesitând în acest caz capacități de rezistență mai mici pentru elementele structurale, fie printr-o capacitate redusă de deformare postelastice, care implică o capacitate de rezistență mai ridicată a elementelor structurale.

Pentru a asigura costuri reduse pentru structurile clădirilor, în cazul zonelor cu seismicitate ridicată, se preferă de obicei sistemele cu capacitate mare de deformare postelastice.

Prin urmare sistemele structurale supuse acțiunilor seismice se proiectează în conformitate cu unul din următoarele două concepte:

- a) comportare de structură disipativă (comportare ductilă)
- b) comportare de structură nedisipativă

În baza conceptului a) se ține seama de capacitatea unor părți ale structurii de a prelua efectul acțiunilor seismice dincolo de domeniul de comportare elastic.

<sup>1</sup> Prof.dr.ing.; Catedra de Construcții Metalice; Universitatea Tehnică de Construcții București

<sup>2</sup> Conf.dr.ing.; Catedra de Construcții Metalice; Universitatea Tehnică de Construcții București

<sup>3</sup> Asist.dr.ing.; Catedra de Construcții Metalice; Universitatea Tehnică de Construcții București

<sup>4</sup> Asist.drd.ing.; Catedra de Construcții Metalice; Universitatea Tehnică de Construcții București

În baza conceptului b) - preluare a efectului acțiunilor seismice fără disipare de energie - dimensionarea se face în ipoteza unei comportări elastice a structurii.

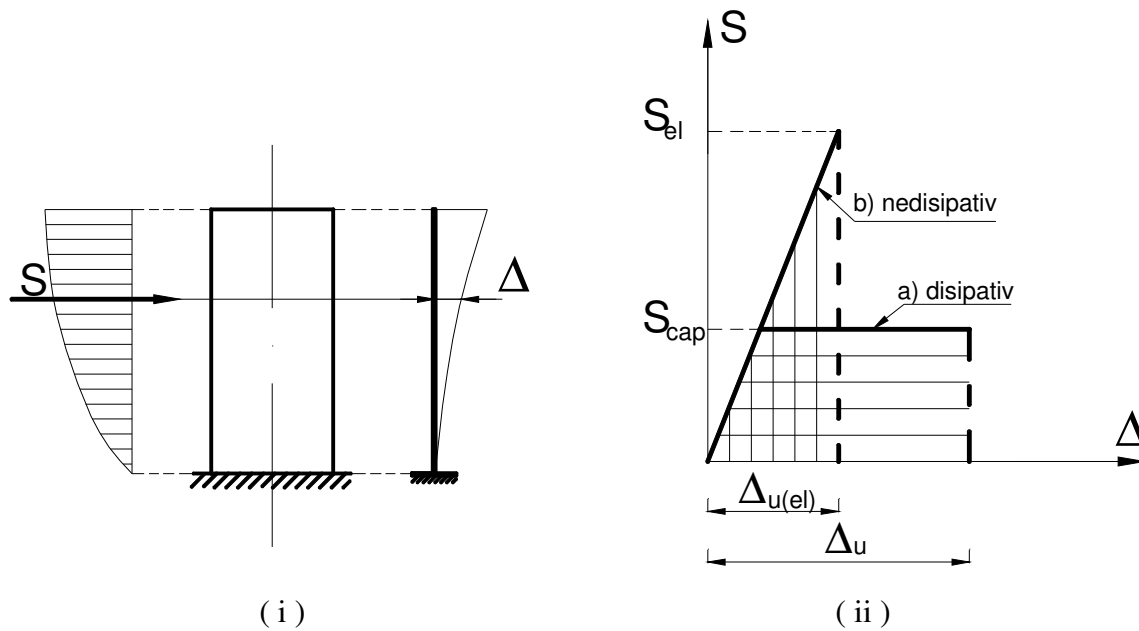


Fig.1: Reprezentarea variației forță - deplasare ( $S - \Delta$ ) în cazul unui sistem cu un grad de libertate dinamică: i) distribuția încărcării seismice pe structură conform modului propriu fundamental de vibrație; ii) concepte de proiectare antisismică.

### 3. Cerințe impuse structurilor supuse acțiunii seismice:

Principalele proprietăți ce trebuie examinate la proiectarea unui sistem structural supus la acțiuni seismice sunt:

- rigiditatea (prin mărimea acceptată pentru deplasarea relativă de nivel),
- rezistența (prin asigurarea capacității de rezistență a elementelor structurale la solicitările de calcul),
- ductilitatea (prin capacitatea de deformare postelastice asigurată).

Pentru prevenirea avarierii elementelor care nu sunt de rezistență (fațade, pereți de compartimentare, elemente de ornament etc.) în cazul unor cutremure frecvente relativ slabe este necesară o anumită rigiditate a sistemului structural. De asemenea, o anumită capacitate de rezistență este necesară pentru asigurarea unei comportări elastice a structurii în cazul unor cutremure ceva mai puternice, evitând astfel avarierea structurii și limitând gradul de avariere al elementelor nestructurale.

Asigurarea unei ductilități suficiente, adică a unei capacități suficiente de deformare postelastice, este necesară pentru ca avariile, care se produc aproape inevitabil în sistemul structural în timpul cutremurelor puternice, să poată fi remediate în condiții acceptabile din punct de vedere economic, iar colapsul să fie exclus, chiar și în cazul cutremurului celui mai puternic luat în considerare.

Rigidității, capacității de rezistență și ductilității li se pot acorda grade de importanță diferite, în funcție de importanța acordată consecințelor pe care cutremurele le pot avea asupra diferitelor tipuri de structuri.

### 4. Metoda proiectării capacității de rezistență:

Pentru construcțiile obișnuite nu este practic posibil, în condiții economice rezonabile, o dimensionare de așa natură a structurii încât ea să se mențină în domeniul elastic pe durata cutremurelor severe, fiind inevitabile incursiunile în domeniul postelastic. Acestea se

materializează prin deformații plastice în zonele mai puternic solicitate, denumite zone potențial plastice.

La proiectarea unei construcții, pozițiile zonelor potențial plastice nu trebuie să fie lăsate la voia întâmplării, ci este necesară dirijarea lor prin proiectare către zonele în care ele se manifestă în modul cel mai puțin defavorabil pentru comportarea structurii. Unul din principiile fundamentale de proiectare antiseismică constă în impunerea unui mecanism structural favorabil de disipare a energiei (mecanism de plastificare) sub acțiuni seismice de intensitate ridicată. Acest obiectiv implică următoarele:

1). Dirijarea zonelor potențial plastice cu prioritate în elemente:

- care prin conformarea lor posedă o capacitate de deformare postelastice substanțială;
- a căror eventuală avariere nu pune în pericol stabilitatea generală a construcției;
- la care avariile produse de cutremur pot fi reparate ușor, fără eforturi tehnice și costuri exagerate;

Se acceptă incursiuni în domeniul postelastic și în alte elemente structurale care în final să conducă la formarea mecanismului global de cedare urmărit (de exemplu formarea articulațiilor plastice la baza stâlpilor).

2). Zonele potențial plastice trebuie astfel distribuite încât capacitatea de deformare postelastice a structurii să fie cât mai mare, iar cerințele de deformare a zonelor potențial plastice cât mai mici. Se va urmări evitarea concentrării deformațiilor plastice în puține zone, situații care antrenează cerințe ridicate de ductilitate.

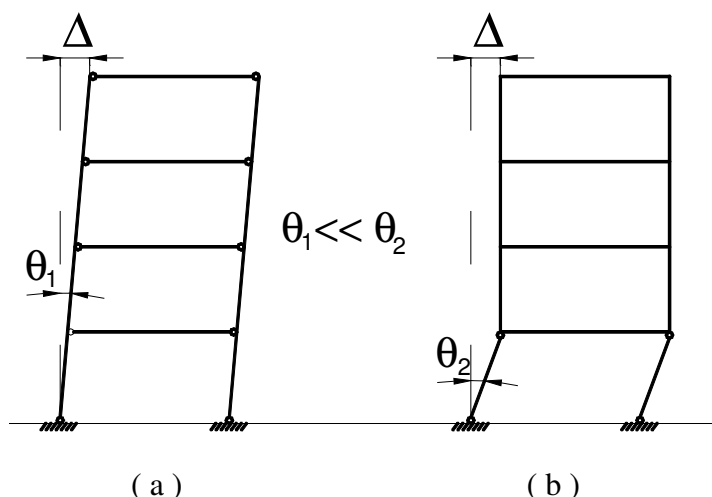


Fig.2: Cerințe de deformare plastică

a) mecanism de cedare global (favorabil); b) mecanism de etaj (defavorabil).

Compararea exemplurilor din figura 2 arată că în cazul mecanismului (a) favorabil, cu numeroase articulații plastice la extremitățile grinzilor (“mecanismul de grindă slabă - stâlpi tari”), pentru aceeași deformare totală  $\Delta$  este necesar un unghi de rotire  $\theta_1$  în zonele potențial plastice, simțitor mai mic decât unghiul  $\theta_2$  înregistrat în cazul mecanismului (b) cu plastificări în stâlpi cunoscut și sub denumirea de “mecanism de etaj slab” (soft story mechanism). “Mecanismul de etaj slab” reprezintă cauza cea mai frecventă și de nedorit a colapsului sistemelor în cadre sub acțiuni seismice, ce trebuie evitată printr-o proiectare corectă.

3). Pentru a fi capabile să disipeze o cantitate mare de energie zonele potențial plastice se vor alcătui astfel încât să prezinte capacități suficiente de deformare postelastice și o comportare histeretică cât mai stabilă (o comportare la încărcări ciclice în domeniul postelastic fără degradări semnificative de rezistență sau rigiditate).

4). Zonele cu tendință de cedare neductilă sau elementele structurale pentru care nu se poate asigura o disipare stabilă a energiei vor fi protejate împotriva unor solicitări excesive (în

afara domeniului elastic de comportare) prin modul de dimensionare și alcătuire constructivă după cum urmează:

- la solicitările corespunzătoare încărcării structurii cu forțele seismice de cod se dimensionează practic numai zonele și barele potențial plastice;

- restul structurii (elementele structurale cu excepția zonelor potențial plastice) se va dimensiona la solicitările corespunzătoare atingerii capacității de rezistență a zonelor potențial plastice ținând seama de suprarezistența a materialului din aceste zone. Astfel se obține o supradimensionare a celorlalte elemente structurale în raport cu zonele potențial plastice.

Acest procedeu de dimensionare poartă denumirea de **metoda proiectării capacității de rezistență**. Metoda a fost concepută în perioada 1975-1990 și adusă în stadiul actual de aplicare practică, în primul rând de către cercetătorii neozeelandezi și se potrivește foarte bine la proiectarea deterministă rațională a structurilor de toate tipurile, în primul rând la acțiuni seismice. Metoda de proiectare a capacității de rezistență se bazează pe următoarele principii:

- 1). *Controlul solicitărilor în structură*: Eforturile maxime posibile în structură sunt păstrate în limite controlabile. Forța seismică orizontală maximă cu care construcția se încarcă efectiv nu poate depăși valoarea forței orizontale care conduce la atingerea efortului capabil în toate zonele potențial plastice, adică la mecanismul plastic de cedare impus (vezi fig. 1 și 8).

- 2). *Stabilirea de zone pentru disiparea de energie*: Zonele pentru disiparea energiei vor fi stabilite precis în timpul proiectării și se vor alcătui constructiv pentru a li se asigura o ductilitate ridicată. Se vor evita ruperile și fenomenele necontrolate de pierdere a stabilității locale sau generale care conduc la o comportare neductilă.

- 3). *Protejarea zonelor cu ductilitate redusă împotriva suprasolicitării*: Zonele cu o comportare neductilă vor fi protejate împotriva unor eforturi excesive și vor rămâne, indiferent de intensitatea acțiunii seismice, totdeauna în domeniul elastic.

- 4). *Comportarea ductilă a structurii de rezistență*: Structura, în totalitatea ei, prezintă (în pofida zonelor cu ductilitate redusă), o comportare ductilă cu o capacitate mare de deformare. Zonele cu comportare neductilă, fiind calculate să rămână în domeniul elastic de comportare chiar și în cazul solicitărilor maxime ce pot apare în structură, nu vor ajunge să cedeze fragil.

Avantajele metodei proiectării la capacitatea de rezistență apar la solicitarea dinamică a structurilor, deoarece eforturile în elementele vitale, care asigură stabilitatea întregii structuri, sunt greu de stabilit și controlat cu precizie pe alte căi. O structură proiectată în acest mod și executată corect se comportă deosebit de bine într-un domeniu larg de deformații produse de acțiunile seismice. Deformațiile produse de cutremur sunt dependente în primul rând de energia indusă în structură, care diferă de la un seism la altul. Dacă în structură este indusă mai multă energie, aceasta va conduce la deformații mai mari ale structurii, dar puțin probabil la colaps.

## **5. Reflectarea conceptului de bază al normativului P100-1/2004 în prevederile de calcul ale acestuia:**

### *1) Calculul zonelor disipative:*

Spre deosebire de vechiul normativ, sunt date relații explicite de verificare pentru secțiunile elementelor disipative aparținând diferitelor tipuri de structuri metalice în care se acceptă disiparea energiei prin deformații postelastice (cadre necontravântuite cu noduri rigide, cadre contravântuite centric, cadre cu contravântuiri prinse excentric la noduri).

Exemplu: în cazul cadrelor contravântuite excentric, unde în vechiul normativ se făcea trimitere la alte norme (vezi punctul 8.5.5. din P100-92), în normativul P100-1/2004 există un subcapitol (paragraful 6.8.) dedicat acestor tipuri de structuri.

2) *Calculul elementelor structurale pentru care se urmărește asigurarea unei comportări elastice în timpul acțiunii seismice:*

Față de Normativul P100-92, în cazul elementelor structurale pentru care se urmărește asigurarea unei comportări cvasielastice în timpul cutremurelor sunt precizate detaliat pentru fiecare tip de structură combinațiile de încărcări la care acestea trebuie dimensionate. Relațiile de calcul sunt de forma:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$

unde:

- $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$ , sunt eforturile de proiectare (efort axial, moment încovoietor și forță tăietoare);
- $N_{Ed,G}$ ,  $M_{Ed,G}$ ,  $V_{Ed,G}$ , sunt eforturile produse de încărcările neseismice incluse în gruparea specială de încărcări în elementele structurale nedisipative;
- $N_{Ed,E}$ ,  $M_{Ed,E}$ ,  $V_{Ed,E}$ , sunt eforturile din stâlp sau în diagonala contravântuirii din încărcări seismice;
- $\Omega$  este un factor de multiplicare al eforturilor  $M_{Ed,E}$ ,  $N_{Ed,E}$ ,  $V_{Ed,E}$  pentru proiectarea elementelor structurale nedisipative. Acest coeficient se calculează pentru elementele disipative dimensionate din acțiunea seismică (nu se iau în considerare elementele dimensionate constructiv sau din combinații de încărcări care cuprind seismul).

3) *Condiții privind materialele utilizate la construcțiile amplasate în zone seismice:*

- oțelul utilizat trebuie să aibă raportul dintre rezistența la rupere și limita minimă de curgere de cel puțin 1,20 ( $f_{ud}/f_{yd} = 1,20$ ), iar alungirea la rupere să fie de minim 20%.
- se vor folosi oțeluri cu limita de curgere  $f_{yd} \leq 350 \text{ N/mm}^2$ .
- la îmbinările de montaj se vor utiliza șuruburi de înaltă rezistență pretensionate din grupele 8.8 și 10.9.
- limita de curgere a oțelului nu poate să depășească cu mai mult de 25% limita de curgere minim garantată  $f_{y, \max} \leq 1.25 f_{yd}$ .
- limita de curgere maxim admisă în proiect va fi marcată obligatoriu pe planurile de execuție.

4) *Precizări cu privire la îmbinările elementelor structurale:*

- La îmbinările cu șuruburi sollicitate în planul îmbinării rezistența la forfecare a șuruburilor trebuie să depășească cu cel puțin 20% rezistența la presiune pe pereții găurii.
- Îmbinările se calculează cu o suprazistență de  $1,1 \cdot \gamma_{ov} = 1,375$ , față de 1,25 ori efortul capabil plastic al secțiunii cât era prevăzut în vechea normă.
- Conform noului normativ rezistența la presiune pe pereții găurii se calculează folosind un coeficient cu valoarea de 2,5 în comparație cu vechea normă în care, pentru îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență, coeficientul folosit are valoarea 3,0.
- Se acceptă ca îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență sollicitate în planul îmbinării, să fie calculate la forfecare și presiune pe pereții găurii.
- La îmbinări sollicitate perpendicular pe planul îmbinării se asigură o pretensionare a șuruburilor de înaltă rezistență de 50%, iar acestea să lucreze numai la întindere în tija, prevăzându-se scaune la partea inferioară și la partea superioară. Pretensionarea are rolul de a diminua efectul încărcării prin șoc din acțiunea seismică și evitarea ruperii fragile a șuruburilor de înaltă rezistență.

- La îmbinările între tronsoanele de stâlpi se acceptată că forța axială de compresiune se transmite prin contact direct.

5) *Precizări cu privire la prinderea stâlpilor de infrastructură:*

- Șuruburile de ancoraj vor fi proiectate la efortul maxim de întindere rezultat din combinația de încărcări care include acțiunea seismică. Efectele acțiunii  $E_{Fd}$  (eforturile de la baza stâlpului) se determină cu relația:  $E_{Fd} = E_{F,G} + \gamma_{Rd} \Omega E_{F,E}$

unde:

$E_{F,G}$  = efectul acțiunii (efortul secțional) din încărcările neseismice, incluse în combinația de acțiuni considerate în calculul la cutremur

$E_{F,E}$  = efectul acțiunii (efortul secțional) din încărcările seismice de proiectare

$\gamma_{Rd}$  = factorul de suprazistență, egal cu 1 pentru  $q \leq 3$ , și 1,2 în celelalte cazuri;

$\gamma_{Rd} = (R_{di}/E_{di}) \leq q$  în zona disipativă a elementului  $i$  a structurii care are influența cea mai mare asupra efortului  $E_F$  considerat, iar

$R_{di}$  = rezistența (efortul capabil) al elementului  $i$

$E_{di}$  = valoarea de proiectare a efortului în elementul  $i$  corespunzătoare acțiunii seismice de proiectare

- Pentru evitarea ruperii fragile, se recomandă ca detaliul de prindere a stâlpilor în infrastructură să asigure o zonă de deformație liberă a șuruburilor de ancoraj de minim  $5d$ , unde  $d$  este diametrul tijei șurubului.
- Se recomandă ca transmiterea forțelor orizontale de la infrastructură la suprastructură să nu se realizeze prin intermediul șuruburilor de ancoraj. Pentru aceasta, se poate aplica una din următoarele rezolvări constructive:
  - a) înglobarea bazei stâlpului într-o suprabetonare armată cu înălțimea egală cu cel puțin 40 cm sau 0,5 din înălțimea secțiunii stâlpului;
  - b) prevederea unor elemente sudate (pinteni) sub placa de bază a stâlpului, care vor fi înglobate în goluri special executate în fundații, odată cu subbetonarea bazei. Aceste elemente vor fi dimensionate astfel încât să poată transmite forța tăietoare de la baza stâlpului la fundație.
  - c) înglobarea stâlpului în infrastructură pe o înălțime care să îi asigure ancorarea directă, fără a fi necesare șuruburi de ancoraj.

6) *Factorul de comportare al structurii  $q$  (corespondentul factorului  $\psi$  din vechiul normativ) are valori diferențiate funcție de clasa de secțiunii asigurată elementelor :*

Relația dintre clasa de secțiune și factorul de comportare  $q$  al structurii.

| Clasa de ductilitate | Factorul de comportare $q$ | Clasa de secțiune |
|----------------------|----------------------------|-------------------|
| H                    | $q > 4,0$                  | clasa 1           |
| M                    | $2,0 < q \leq 4,0$         | clasa 1 sau 2     |
| L                    | $q = 1,0$                  | clasa 1, 2 sau 3  |

7) *Prevederi referitoare la conformarea cadrelor necontravântuite:*

- Ambele tălpi ale grinzilor vor fi rezemate lateral, direct sau indirect. Suplimentar, rezeme laterale vor fi amplasate în zonele unde se aplică forțele concentrate, în dreptul schimbării secțiunii transversale și în alte locuri unde calculul structurii indică posibilitatea apariției unei articulații plastice.

- În zonele potențial plastice (clasa de secțiune 1) trebuie îndeplinite următoarele condiții :

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0; \quad \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,15; \quad \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5;$$

unde :

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$$

$N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$  = eforturile de proiectare, respectiv forța axială, moment încovoietor și forța tăietoare de proiectare din gruparea de încărcări care include acțiunea seismică;

$N_{pl,Rd}$ ,  $M_{pl,Rd}$ ,  $V_{pl,Rd}$  = eforturile plastice de proiectare ale secțiunii;

$$N_{pl,Rd} = A f_{yd}; \quad M_{pl,Rd} = W_{pl} f_{yd}$$

$$V_{pl,Rd} = (d - t_f) t_w f_{yd} / \sqrt{3} \text{ pentru secțiuni dublu T laminate,}$$

$$V_{pl,Rd} = h_w t_w f_{yd} / \sqrt{3} \text{ pentru secțiuni dublu T sudate;}$$

$A$  = aria netă a secțiunii;

$h_w$  = înălțimea inimii grinzii;  $d$  = înălțimea totală a secțiunii grinzii;

$t_w$  = grosimea inimii grinzii;  $t_f$  = grosimea tălpii grinzii;

$V_{Ed,G}$  = forța tăietoare din acțiunile neseismice;

$V_{Ed,M}$  = forța tăietoare rezultată din aplicarea momentelor capabile  $M_{pl,Rd,A}$  și  $M_{pl,Rd,B}$  cu semne opuse la cele două capete A și B ale grinzii.

$$V_{Ed,M} = (M_{pl,Rd,A} + M_{pl,Rd,B}) / L; \quad L = \text{deschiderea grinzii;}$$

- Se prevăd relații detaliate pentru dimensionarea, verificarea și alcătuirea constructivă a panourile de inimă ale stâlpilor din zona îmbinărilor grindă-stâlp.

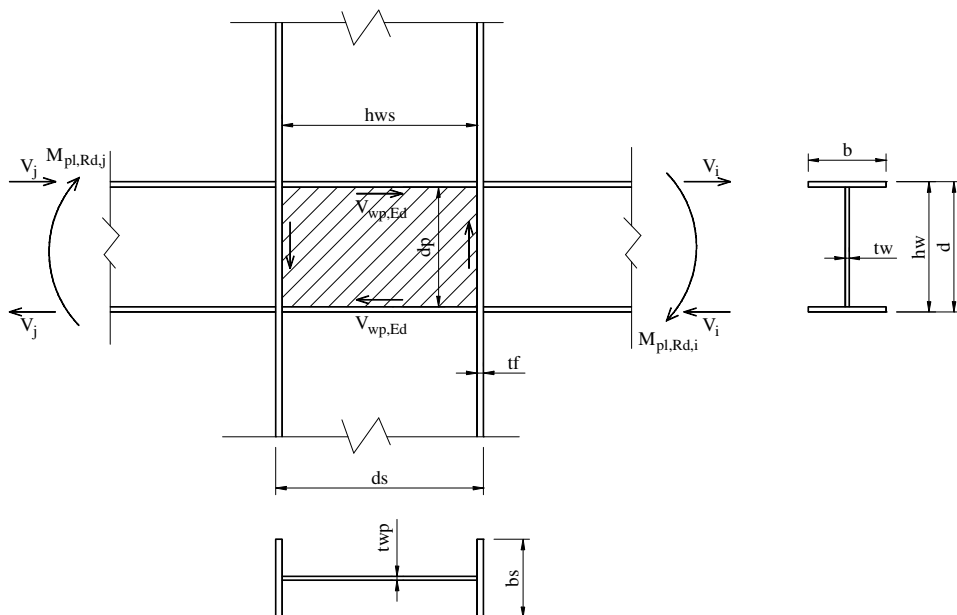


Fig.3: Îmbinare grindă – stâlp. Panoul de inimă

Panourile de inimă ale stâlpilor din zona îmbinărilor grindă-stâlp (vezi fig. 3) trebuie să satisfacă următoarea condiție:  $\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$

în care:

$V_{wp,Ed}$  = valoarea forței tăietoare în panou calculată funcție de rezistența plastică a zonelor disipative ale grinzilor adiacente;

$V_{wp,Rd}$  = efortul capabil de forfecare a panoului de inimă.

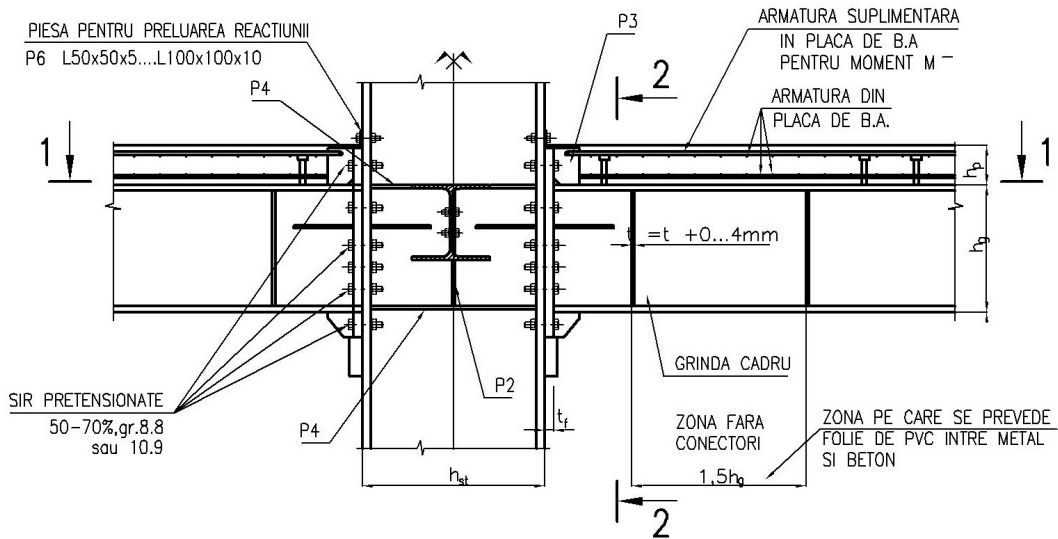
- Reazemele laterale adiacente zonelor potențial plastice trebuie să preia o forță laterală egală cu  $0,06\gamma_{ov}f_{yd}t_f b$ . Celelalte reazeme laterale vor fi calculate pentru o forță egală cu  $0,02\gamma_{ov}f_{yd}t_f b$ .

în care:

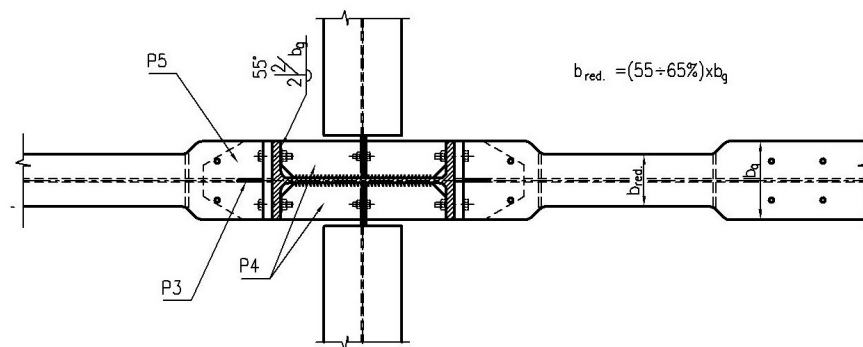
$\gamma_{ov}$  = coeficientul de amplificare a limitei de curgere ținând seama de suprarezistența materialului;  $\gamma_{ov} = 1,25$ ;

$b$  = lățimea tăpii grinzii;

$f_{yd}$  = limita minimă de curgere a oțelului;



SECTIUNEA 1-1



SECTIUNEA 2-2

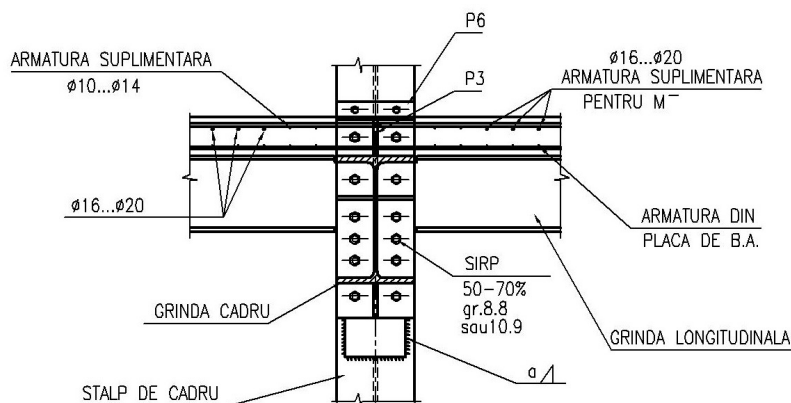


Fig.4: Cadre necontravântuite. Soluție constructivă prindere grindă/stâlp



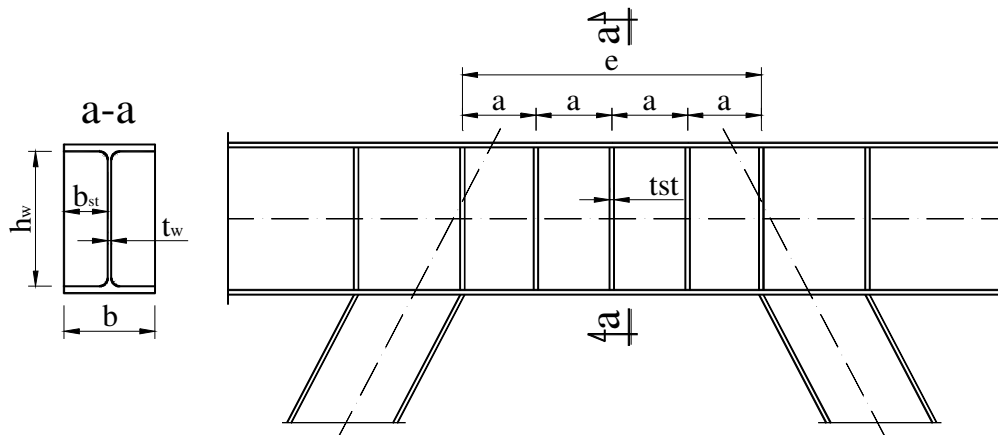
- Pentru dirijarea articulațiilor plastice în grindă, în vecinătatea îmbinării grindă-stâlp, se poate reduce lățimea tălpilor (prin racordări cu pantă de 1:3 ÷ 1:5) cu până la 35% pe lungimea de  $1,5 h_w$  ( $h_w$  fiind înălțimea inimii grinzii). Zona de secțiune redusă va fi mărginită de rigidizări transversale amplasate pe ambele fețe ale inimii. Secțiunea redusă se va verifica în domeniul elastic la starea limită ultimă la eforturile rezultate din grupările speciale de încărcări. În figura 4 este prezentată soluția de realizare a unei prinderi grindă/stâlp care respectă aceste principii.
- În planul cadrelor în care grinzile pot forma articulații plastice, zveltețea stâlpului se limitează la:  $0,7\pi \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$
- În planul în care nu se pot forma articulații plastice în grinzi, zveltețea stâlpului se limitează la:  $1,3\pi \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$

8) *Prevederi referitoare la conformarea cadrelor contravântuite centric:*

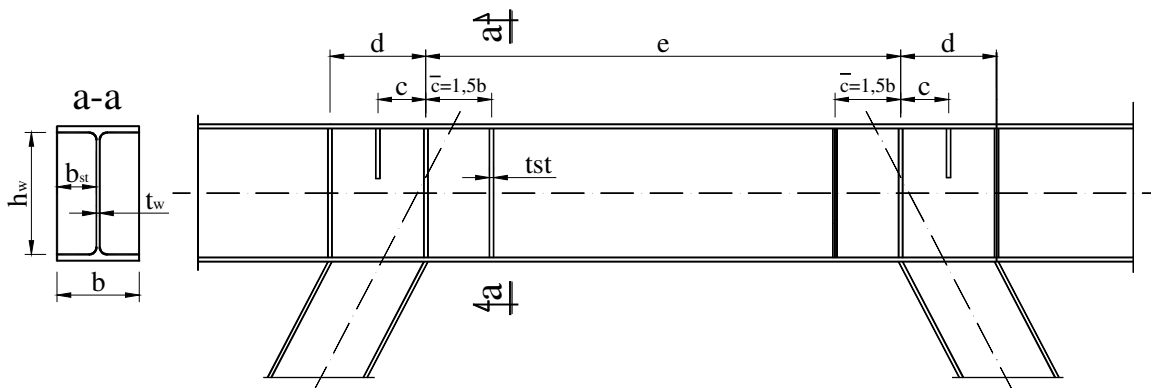
- La cadrele cu contravântuiri cu diagonale în X, coeficientul de zveltețe  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_{yd}}{N_{cr}}}$  trebuie să ia valori în intervalul:  $1,3 < \bar{\lambda} \leq 2,0$  ( $1,3\lambda_E < \lambda \leq 2,0\lambda_E$ ). Limita de 1,3 este stabilită pentru a evita supraîncărcarea stâlpilor în stadiul premergător atingerii forței critice de flambaj (când atât diagonalele comprimate cât și cele întinse sunt active).
- La cadrele contravântuite cu diagonale care lucrează la întindere dar nu sunt dispuse în X, coeficientul de zveltețe  $\bar{\lambda}$  trebuie limitat la:  $\bar{\lambda} \leq 2,0$  ( $\lambda \leq 2,0\lambda_E$ ).
- La cadrele cu contravântuiri în V, coeficientul de zveltețe trebuie limitat la  $\bar{\lambda} \leq 2,0$ .
- Efortul plastic capabil  $N_{pl,Rd}$  al secțiunii transversale a diagonalelor trebuie să fie astfel ca:  $N_{pl,Rd} \geq N_{Ed}$ .
- La cadre cu contravântuiri în V, grinzile trebuie proiectate să preia:
  - o toate acțiunile neseismice, fără a se lua în considerare reazemul format de diagonale, numai în cazul contravântuirilor în V inversat;
  - o efortul neechilibrat aplicat grinzii de către contravântuiri după ce diagonala comprimată a flambat. Acest efort este calculat considerând  $N_{pl,Rd}$  pentru diagonala întinsă și  $0,3N_{pl,Rd}$  pentru diagonala comprimată.
- În secțiunea de intersecție cu diagonalele, grinda va fi prevăzută, atât la talpa superioară cât și la talpa inferioară, cu legături laterale capabile să preia fiecare o forță laterală egală cu  $0,02bt_f f_{yd}$ .
- Zveltețea stâlpilor în planul contravântuit, se limitează la  $1,3\pi \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$ ; ( $\lambda \leq 1,3\lambda_E$ ).

9) *Prevederi referitoare la conformarea cadrelor contravântuite excentric:*

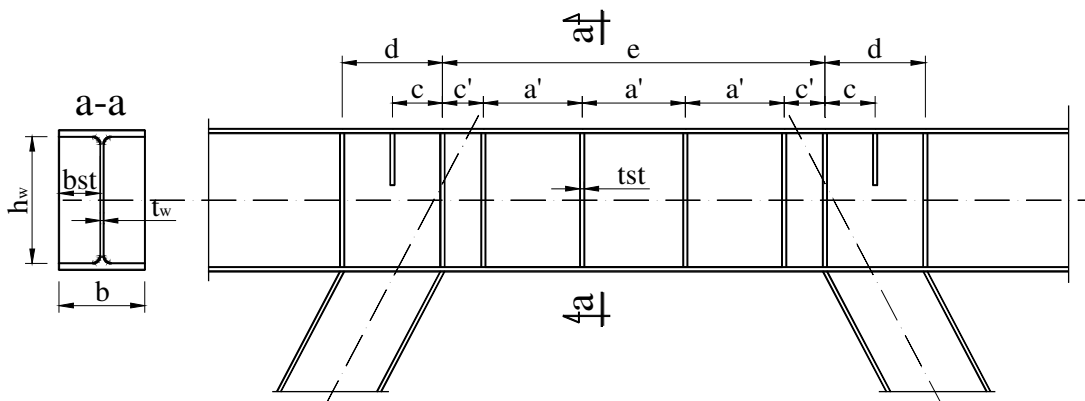
- Se prezintă în detaliu verificarea și clasificarea barelor disipative cu secțiune dublu T.
- Se prevăd relații de dimensionare pentru rigidizările transversale ale barelor disipative și sudurile de prindere a acestora. Se precizează pozițiile rigidizărilor în lungul barelor disipative (figura 5).



a) bară disipativă scurtă ( $e < 1,6 M_{pl,link} / V_{pl,link}$ )



b) bară disipativă lungă ( $e > 3,0 M_{pl,link} / V_{pl,link}$ )



c) bară disipativă intermediară ( $1,6 M_{pl,link} / V_{pl,link} \leq e \leq 3,0 M_{pl,link} / V_{pl,link}$ )

Fig.5: Amplasarea rigidizărilor la barele disipative

- Unghiul de rotire inelastică al barei disipative  $\theta_p$  (definit în figura 6), format între bara disipativă și elementul din afara acesteia, rezultat în urma unui calcul nelinier, se va limita la:
  - o  $\theta_p \leq 0,08$  radiani pentru barele disipative scurte;
  - o  $\theta_p \leq 0,02$  radiani pentru barele disipative lungi;
  - o  $\theta_p$  va avea o valoare determinată prin interpolare liniară între valorile de mai sus, pentru barele disipative intermediare.

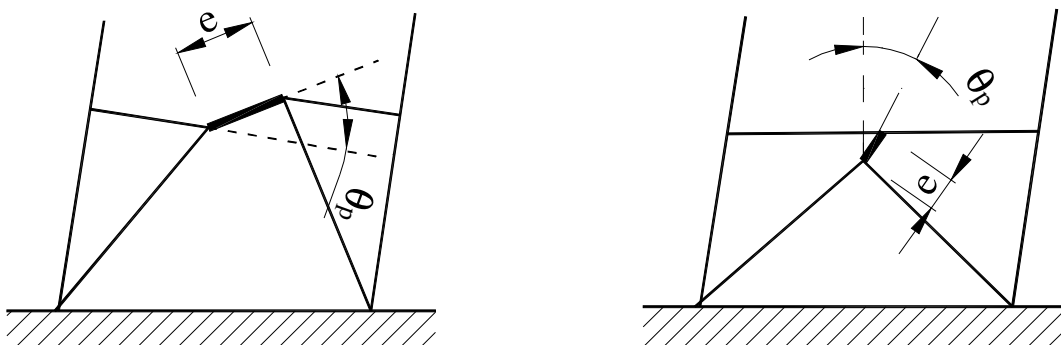


Fig.6: Unghiul de rotire inelastică al barei disipative  $\theta_p$

- La capetele barei disipative, atât la talpa superioară cât și la talpa inferioară, trebuie prevăzute legături laterale, având o rezistență la compresiune mai mare sau egală cu  $0,06f_{yd}bt_f$  ( $b$ ,  $t_f$  – dimensiunile secțiunii tălpii barei disipative).
- Intersecția dintre axa diagonalei și axa grinzii se va găsi în dreptul rigidizării de la capătul barei disipative sau în interiorul lungimii barei disipative. Nici o parte a prinderii nu se va extinde pe lungimea barei disipative.

#### 10) Calculul structurilor duale:

- Structurile duale cu cadre necontravântuite și cadre contravântuite lucrând în aceeași direcție, trebuie proiectate folosind un singur factor  $q$  (cel mai mic). Forțele horizontale trebuie distribuite între diferitele cadre proporțional cu rigiditatea lor elastică.
- Cadrele necontravântuite, situate pe direcția contravântuită a clădirii, vor fi astfel proiectate încât să poată prelua cel puțin 25% din acțiunea seismică de calcul, în ipoteza în care cadrele contravântuite au ieșit din lucru. Cadrele contravântuite vor fi proiectate la eforturile rezultate din calculul static în cea mai defavorabilă combinație de încărcări.
- O structură poate fi considerată cu noduri fixe în cazul în care sistemul de contravântuire reduce deplasările horizontale cu cel puțin 80%.

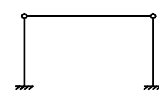
## 6. Valorile încărcărilor seismice de calcul:

În cele mai multe situații în cazul structurilor metalice încărcările seismice de calcul (respectiv forțele tăietoare de bază) evaluate conform noului normativ au valori mai mari decât cele dimensionate conform Normativului P100-92.

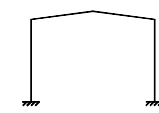
Acest lucru se reflectă cel mai bine prin valoarea coeficienților seismici globali, care practic au aceeași semnificație în ambele norme analizate: în P100-92,  $c^{P100-92} = \alpha \cdot \beta \cdot k_s \cdot \psi \cdot \varepsilon$  în P100/1-2004,  $c^{P100/1-04} = \gamma_F \cdot S_d(T_1) \cdot \lambda / g$ , (vezi valorile din Tabelul 1 și graficul din Figura 7).

Tabel 1: Valori coeficienți seismici globali (  $c$ ,  $c_{min}$  și  $c_{max}$  )

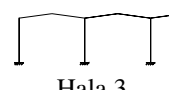
| Tip structură | AMPLASAMENT   |                       |                       |              |               |                       |                       |              |
|---------------|---------------|-----------------------|-----------------------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
|               | București     |                       |                       |              | Brașov        |                       |                       |              |
|               | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  |
| Hala 1        | 0.170         | 0.220                 | 0.264                 | <b>1.294</b> | 0.136         | 0.183                 | 0.220                 | <b>1.348</b> |
| Hala 2        | 0.100         | 0.132                 | 0.165                 | <b>1.320</b> | 0.080         | 0.110                 | 0.138                 | <b>1.375</b> |
| Hala 3        | 0.085         | 0.120                 | 0.165                 | <b>1.412</b> | 0.068         | 0.100                 | 0.138                 | <b>1.471</b> |
| Cadru 1       | 0.072         | 0.094                 | 0.140                 | <b>1.294</b> | 0.058         | 0.078                 | 0.117                 | <b>1.348</b> |
| Cadru 2       | 0.106         | 0.140                 | 0.140                 | <b>1.320</b> | 0.085         | 0.117                 | 0.117                 | <b>1.375</b> |
| Cadru 3       | 0.213         | 0.224                 | 0.281                 | <b>1.056</b> | 0.170         | 0.187                 | 0.234                 | <b>1.100</b> |
| Cadru 4       | 0.085         | 0.094                 | 0.140                 | <b>1.100</b> | 0.068         | 0.078                 | 0.117                 | <b>1.146</b> |
| Tip structură | AMPLASAMENT   |                       |                       |              |               |                       |                       |              |
|               | Craiova       |                       |                       |              | Focșani       |                       |                       |              |
|               | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  |
| Hala 1        | 0.136         | 0.147                 | 0.176                 | <b>1.078</b> | 0.272         | 0.293                 | 0.352                 | <b>1.078</b> |
| Hala 2        | 0.080         | 0.088                 | 0.110                 | <b>1.100</b> | 0.160         | 0.176                 | 0.220                 | <b>1.100</b> |
| Hala 3        | 0.068         | 0.080                 | 0.110                 | <b>1.176</b> | 0.136         | 0.160                 | 0.220                 | <b>1.176</b> |
| Cadru 1       | 0.058         | 0.062                 | 0.094                 | <b>1.078</b> | 0.116         | 0.125                 | 0.187                 | <b>1.078</b> |
| Cadru 2       | 0.085         | 0.094                 | 0.094                 | <b>1.100</b> | 0.170         | 0.187                 | 0.187                 | <b>1.100</b> |
| Cadru 3       | 0.170         | 0.150                 | 0.187                 | <b>0.880</b> | 0.340         | 0.299                 | 0.374                 | <b>0.880</b> |
| Cadru 4       | 0.068         | 0.062                 | 0.094                 | <b>0.917</b> | 0.136         | 0.125                 | 0.187                 | <b>0.917</b> |
| Tip structură | AMPLASAMENT   |                       |                       |              |               |                       |                       |              |
|               | Cluj          |                       |                       |              | Constanța     |                       |                       |              |
|               | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  |
| Hala 1        | 0.068         | 0.073                 | 0.088                 | <b>1.078</b> | 0.102         | 0.147                 | 0.176                 | <b>1.438</b> |
| Hala 2        | 0.040         | 0.044                 | 0.055                 | <b>1.100</b> | 0.06          | 0.088                 | 0.110                 | <b>1.467</b> |
| Hala 3        | 0.034         | 0.040                 | 0.055                 | <b>1.176</b> | 0.051         | 0.080                 | 0.110                 | <b>1.569</b> |
| Cadru 1       | 0.029         | 0.031                 | 0.047                 | <b>1.078</b> | 0.043         | 0.062                 | 0.094                 | <b>1.438</b> |
| Cadru 2       | 0.043         | 0.047                 | 0.047                 | <b>1.100</b> | 0.064         | 0.094                 | 0.094                 | <b>1.467</b> |
| Cadru 3       | 0.085         | 0.075                 | 0.094                 | <b>0.880</b> | 0.128         | 0.150                 | 0.187                 | <b>1.173</b> |
| Cadru 4       | 0.034         | 0.031                 | 0.047                 | <b>0.917</b> | 0.051         | 0.062                 | 0.094                 | <b>1.222</b> |
| Tip structură | AMPLASAMENT   |                       |                       |              |               |                       |                       |              |
|               | Iași          |                       |                       |              | Timișoara     |                       |                       |              |
|               | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  | $c^{P100-92}$ | $c_{min}^{P100-1/04}$ | $c_{max}^{P100-1/04}$ | $c_{min}/c$  |
| Hala 1        | 0.170         | 0.183                 | 0.220                 | <b>1.078</b> | 0.136         | 0.147                 | 0.176                 | <b>1.078</b> |
| Hala 2        | 0.100         | 0.110                 | 0.138                 | <b>1.100</b> | 0.080         | 0.088                 | 0.110                 | <b>1.100</b> |
| Hala 3        | 0.085         | 0.100                 | 0.138                 | <b>1.176</b> | 0.068         | 0.080                 | 0.110                 | <b>1.176</b> |
| Cadru 1       | 0.072         | 0.078                 | 0.117                 | <b>1.078</b> | 0.058         | 0.062                 | 0.094                 | <b>1.078</b> |
| Cadru 2       | 0.106         | 0.117                 | 0.117                 | <b>1.100</b> | 0.085         | 0.094                 | 0.094                 | <b>1.100</b> |
| Cadru 3       | 0.213         | 0.187                 | 0.234                 | <b>0.880</b> | 0.170         | 0.150                 | 0.187                 | <b>0.880</b> |
| Cadru 4       | 0.085         | 0.078                 | 0.117                 | <b>0.917</b> | 0.068         | 0.062                 | 0.094                 | <b>0.917</b> |



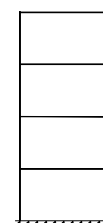
Hala 1



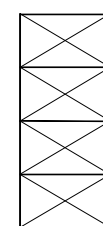
Hala 2



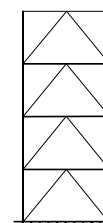
Hala 3



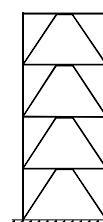
Cadru 1



Cadru 2



Cadru 3



Cadru 4

Observații:

- $c_{min}^{P100/1-04}$  este calculat pentru clasa de ductilitate mare (H);
- $c_{max}^{P100/1-04}$  este calculat pentru clasa de ductilitate medie (M);
- valorile  $c$ ,  $c_{min}$  și  $c_{max}$  au fost calculate pentru structuri cu caracteristici dinamice ce situează spectrul de răspuns elastic pe palier.

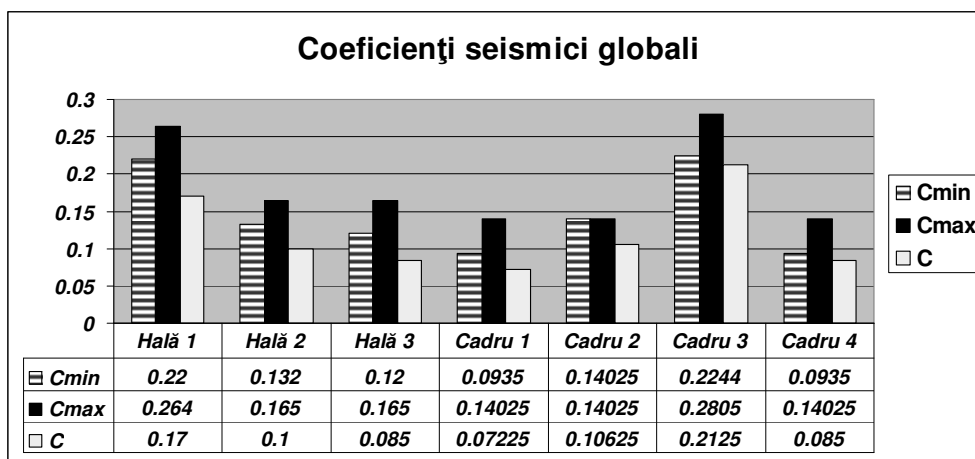


Fig.7: Valori coeficienții seismici globali

Notații:

$C_{min}$ ,  $C_{max}$  și  $C$  = coeficienții seismici globali;

$C$  este calculat în conformitate cu prevederile P100-92;

$C_{min}$ , și  $C_{max}$  sunt calculați conform P100-1/2004, cu valorile maxime și respectiv minime ale factorului de comportare al structurii  $q$ .

Deși conform normativului P100-92 structurile metalice sunt dimensionate la încărcări seismice mai reduse este incorectă afirmația că aceste construcții (corect conformate corespunzător vechiului normativ) ar avea o comportare mai defavorabilă la acțiuni seismice. Corelarea între stabilirea forțelor seismice de calcul și a capacității de deformare postelastice necesare pentru o structură reprezintă o problemă nedeterminată, deci cu o multitudine de soluții (vezi metoda proiectării capacității de rezistență expusă anterior). În figura 8 se arată cum trei variante posibile pentru stabilirea valorii  $S_{cap}$  necesare, notate  $S_1$ ,  $S_2$  și  $S_3$  sunt fiecare condiționate de câte o valoare corespunzătoare a deplasării ultime  $\Delta_{u1}$ ,  $\Delta_{u2}$  și  $\Delta_{u3}$ .

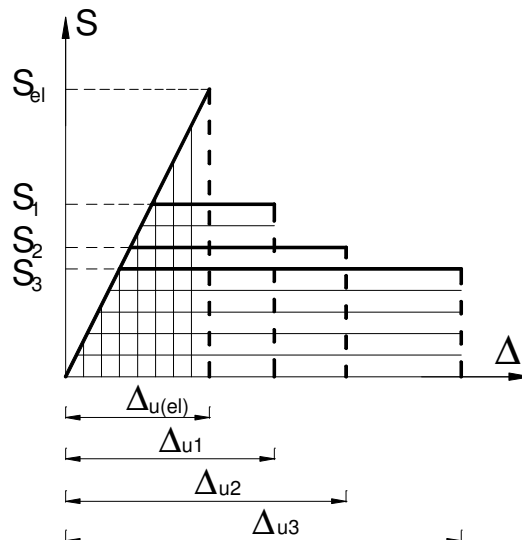


Fig. 8: Dependența dintre forța seismică de calcul și capacitatea de deformare necesară

Această gamă de posibilități pentru modul de stabilire al forței seismice totale de calcul, lasă loc pentru o negociere a valorii ei, în funcție de considerații tehnice și economice. Cu cât valoarea  $S_{cap}$  se ia mai ridicată, deci gradul de asigurare în domeniul elastic este mai mare, cu atât construcțiile devin mai costisitoare, dar în schimb incursiunile de așteptat în domeniul postelastice vor fi mai reduse și avariile care în mod firesc însoțesc deformațiile

postelastice vor fi și ele corespunzător mai mici și în consecință amploarea, costul și dificultățile tehnice ale reparațiilor după cutremur vor fi mai modeste.

Din cele prezentate mai înainte rezultă ca o concluzie generală, că forțele seismice de cod au un caracter convențional, rezultând dintr-o negociere bazată pe criterii tehnice și economice, care pot varia de la o țară la alta și chiar de la o epocă la alta în aceeași țară. Forța  $S_{cap}$  nu măsoară capacitatea de rezistență a structurii la acțiunea forțelor orizontale generate de acțiunea seismică, ci exprimă nivelul ei de asigurare în stadiul elastic.

Măsurile de conformare structurală și de element sunt mai importante decât forța la care se dimensionează structura în domeniul elastic.

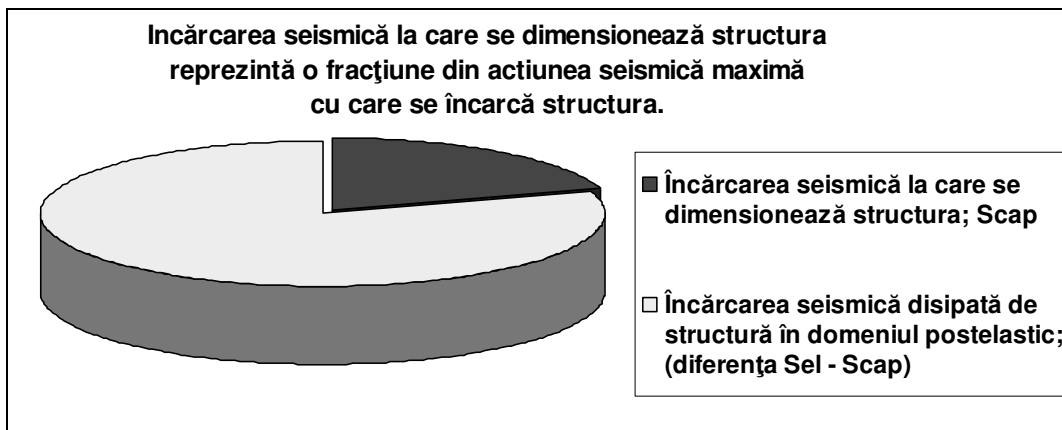


Fig. 9: Distribuția încărcării seismice

Notății:

$S_{el}$  = încărcarea seismică;

$S_{cap}$  = încărcarea seismică la care se dimensionează structura.

### 7. Valorile admise pentru deplasările relative de nivel:

În raport cu P100-92, în noul normativ condiția de limitare a deplasărilor relative de nivel este analizată separat pentru starea limită ultimă și starea limită de serviciu. Față de vechiul normativ, condiția de limitare a deplasărilor relative de nivel din P100-1/2004 este mai puțin strictă, ceea ce conduce la rigidități mai reduse în cazul structurilor flexibile (de exemplu cadrele necontravântuite).

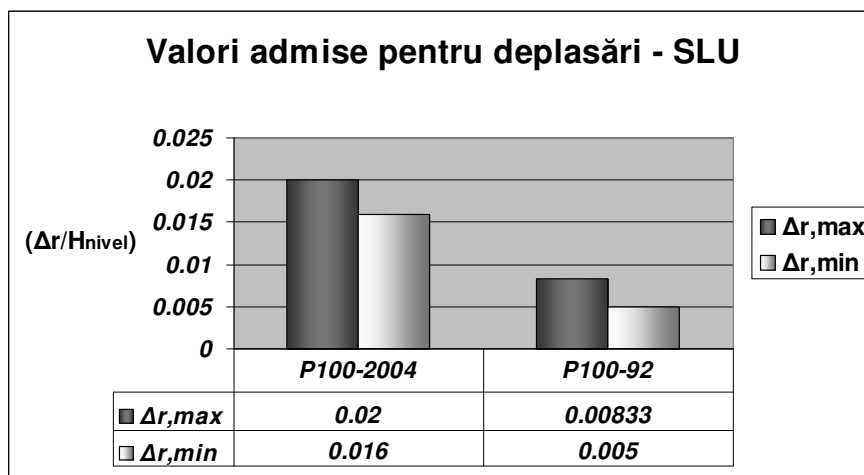


Fig. 10: Valori admise pentru deplasări – starea limită ultime

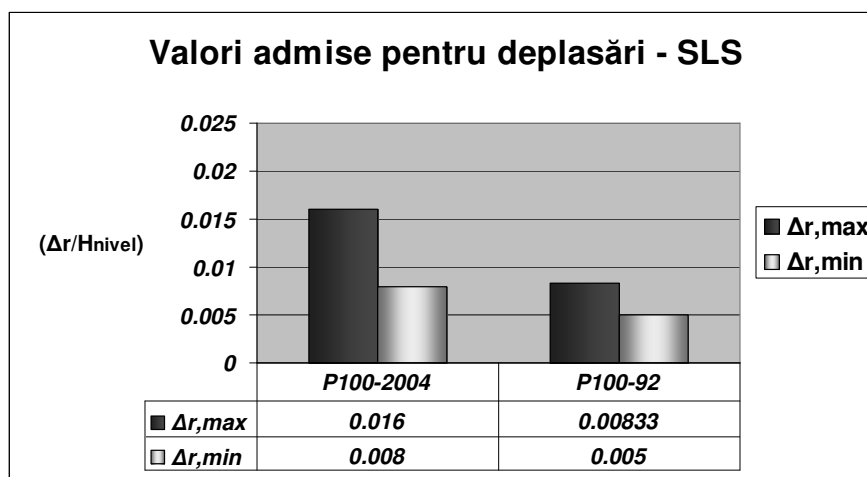


Fig. 11: Valori admise pentru deplasări – starea limită de serviciu

Notații:

$\Delta_{r,min}$  = valoarea admisă pentru deplasarea laterală relativă de nivel în situația când elementele nestructurale sunt deformabile sau nu sunt afectate de deformația structurii;

$\Delta_{r,max}$  = valoarea admisă pentru deplasarea laterală relativă de nivel în situația când elementele nestructurale sunt din materiale fragile atașate structurii.

### Bibliografie:

- [1] Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului, 1992, "Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor civile, agrozootehnice și industriale" – indicativ P 100-92.
- [2] Paul Ioan, 1999, "Studiul Structurilor Metalice Multietajate Conformate la Acțiunea Seismică", Teză de doctorat – Universitatea Tehnică de Construcții București.
- [3] Paul Ioan, Ștefan Bețea, 2001, "Structuri metalice multietajate amplasate în zone seismice".
- [4] Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului, 2004, "Cod de proiectare seismică - Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri"- indicativ P 100-1/2004.
- [5] Helmuth Köber, 2005, "Contribuții privind alcătuirea și calculul structurilor metalice multietajate în cadre contravântuite excentric", Teză de doctorat – Universitatea Tehnică de Construcții București.