

METODE PENTRU CALCULUL RĂSPUNSULUI SEISMIC ÎN CODURILE ROMÂNEȘTI DE PROIECTARE. COMPARAȚII ȘI COMENTARII

Dan Crețu *, Sorin Demetriu *

Rezumat: Lucrarea prezintă evoluția reglementărilor românești pentru proiectarea clădirilor rezistente la cutremure începând cu anul 1942. Sunt prezentate principalele modificări din noul cod de proiectare P100-1/2004 față de normativul P100-92, cuprinse în capitolul 4.5 și anexa C, „Calculul modal cu considerarea comportării spațiale a structurilor”. Pentru evidențierea modificărilor valorilor forței tăietoare de bază, urmărind evoluția istorică a normativelor, se analizează două tipuri de structuri în cadre, respectiv cu pereți structurali din beton armat.

Abstract: The paper presents the evolution of the design rules for seismic resistant buildings from the Romanian codes since 1942. The main modifications in the new designing code P100-1/2004 with respect to the code P100-92 are presented, related to the chapter 4.5 and the annex C, „Modal analysis considering the spatial behaviour of the structures”. In order to emphasize the change of the base shear force throughout the historical evolution of the codes, two types of reinforced concrete structures are analyzed, with frame system and wall system respectively.

1. ASPECTE GENERALE

Codurile românești destinate proiectării clădirilor amplasate în zone seismice au cunoscut o evoluție continuă în ultimii 60 de ani. Prima reglementare datează din decembrie 1941, după producerea cutremurului vrâncean sever din 10 noiembrie 1940. Având la bază norma italiană din anul 1938, această reglementare considera o forță seismică de bază egală cu 5% din rezultanta forțelor gravitaționale, distribuită uniform la planșeele clădirii.

„Normativul condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice”, P13-63, a intrat în vigoare la 18 iulie 1963, fiind elaborat în concordanță cu „Regulile de bază pentru proiectarea construcțiilor în regiuni seismice” redactate în cadrul CAER. Adaptarea acestor reguli la condițiile seismice specifice teritoriului României s-a făcut ținând seama de efectele distructive ale cutremurului vrâncean din 1940, de constatările de la cutremurele puternice din alte țări situate în zone cu seismicitate ridicată și de recomandări extrase din conferințele internaționale de specialitate. La acel moment nu existau însă înregistrări ale unor mișcări seismice în amplasamente situate pe teritoriul României.

La 31 decembrie 1970 s-a aprobat ediția revizuită a normativului P13-63, cu denumirea „Normativ pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice”, P13-70. Noul normativ se dorea o versiune îmbunătățită a normativului anterior, având la bază, așa cum se afirmă în nota de prezentare, modificările din normele străine și cercetări de specialitate efectuate în țară și străinătate. De fapt, așa cum se va arăta în continuare, aceste modificări au condus la reducerea forței seismice convenționale cu aproximativ 20% la structurile în cadre de beton armat. Pentru prima dată s-a făcut observația că atât normativul P13-63, cât și normele străine, nu evaluau direct comportarea structurilor în domeniul plastic în timpul cutremurelor puternice. Incursiunile rapide și repetate în domeniul plastic, în cazul unor structuri cu capacități de deformare post-elastică, fac posibilă disiparea unei părți considerabile din energia îndusă în structură de un cutremur sever.

Efectele cutremurului din 4 martie 1977, concluziile obținute în urma observațiilor „in situ”, precum și înregistrarea accelerației terenului la stația seismică INCERC-București în timpul acestui cutremur vrâncean major au determinat elaborarea succesivă a două noi reglementări: „Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale”, P100-78 (cu aplicare experimentală) și Normativul P100-81. Un merit important al celor două normative este renunțarea la expresia factorului

* prof. dr. ing., Universitatea Tehnică de Construcții București

dinamic β , stabilit pe baza spectrelor de răspuns ale mișcărilor terenului generate de cutremure californiene de suprafață (de exemplu, Imperial Valley - El Centro din 1940), și introducerea spectrului elastic normalizat de proiectare al accelerațiilor absolute, compatibil cu compoziția spectrală a mișcărilor seismice generate de cutremure caracteristice sursei subcrustale Vrancea. Pe de altă parte, prin coeficientul k_s a fost evidențiată direct accelerația maximă imprimată terenului de mișcarea seismică (în conformitate cu harta de macrozonare seismică a teritoriului României), iar prin coeficientul ψ a fost considerată posibilitatea reducerii încărcărilor seismice convenționale elastice în funcție de ductilitatea structurală. Normativul P100-81 introduce pentru prima oară explicit calculul spațial al structurilor la care, datorită poziției diferite a centrului maselor și centrului de rigiditate de nivel, torsiunea generală devine importantă. Calculul spațial este necesar dacă distanța dintre cele două centre $e_1 > 0,10B$, B fiind dimensiunea în plan mai mare a construcției.

După circa 10 ani, pe baza cercetărilor de specialitate realizate în țară și pe plan mondial, precum și mișcărilor înregistrate în rețelele seismice naționale la cutremurele vrâncene puternice din 30 august 1986 și 30, 31 mai 1990, au apărut Normativele P100-91 și P100-92. Aceste norme de proiectare seismică au fost elaborate într-o manieră modernă, efectele asociate poziției amplasamentului și condițiilor de teren fiind incluse în harta de macrozonare seismică și în harta de zonare în funcție de perioadele de colț T_c . Față de normativul P100-81, în care sunt precizate 7 zone cu grade diferite de protecție seismică, în ultimele normative sunt considerate numai 6 zone seismice de calcul. Se elimină corecțiile spectrului de proiectare normalizat în funcție de natura terenului din amplasament conținute în reglementările anterioare. În aceste norme se introduce explicit un coeficient α , care diferențiază nivelurile de protecție seismică în funcție de clasele de importanță ale construcțiilor, și se diversifică tipurile de structuri în aprecierea coeficientului de reducere ψ .

Codul de proiectare seismică „Prevederi de proiectare pentru clădiri – Partea I”, indicativ P100-1/2004, se înscrie în șirul revizuirilor la un interval consacrat de circa 10 ani. Acest cod este elaborat pe scheletul și în formatul codului european EC8 (SR EN 1998-1:2004), având ca scop principal armonizarea reglementărilor din țara noastră cu cele din Uniunea Europeană. În cod sunt incluse cunoștințe actuale pe plan internațional cu aplicabilitate la condițiile seismice specifice teritoriului României. Diferențele semnificative față de normativul P100-92 se referă la reprezentarea acțiunii seismice, la cerințele de performanță, la detalierea prevederilor specifice construcțiilor din beton armat, metal, zidărie, lemn și compozite oțel-beton, la componentele nestructurale, la controlul răspunsului structural prin izolarea bazei și, nu în ultimul rând, la notațiile și relațiile de calcul.

În cele ce urmează se prezintă sintetic principalele modificări privind „Calculul structurilor la acțiunea seismică” cuprinse în paragraful 4.5 și în anexa C intitulată „Calculul modal cu considerarea comportării spațiale a structurilor”.

2. CALCULUL STRUCTURILOR LA ACȚIUNEA SEISMICĂ

Vibrațiile structurilor generate de mișcarea aleatoare a bazei de rezemare pe durata unui cutremur generează forțe de inerție. În proiectarea curentă, forțele seismice de inerție modale maxime pot fi reprezentate prin forțe convenționale echivalente aplicate static. Procedeele de calcul static liniar este cunoscut sub numele de „metoda forțelor laterale echivalente” și stă la baza tuturor reglementărilor pentru proiectarea construcțiilor rezistente la cutremure. Forțele seismice convenționale (de calcul) depind de proprietățile dinamice structurale și de caracteristicile acțiunii seismice, reprezentată prin spectre de răspuns ale accelerațiilor absolute.

Forțele seismice echivalente se obțin prin tratarea independentă a fiecărui mod propriu de vibrație k , caracterizat prin perioada proprie de vibrație T_k , vectorul proprie de vibrație s_k și

masa modală echivalentă m_k . Pentru fiecare mod propriu de vibrație al structurii cu un număr finit de grade de libertate dinamică (GLD) se consideră un sistem dinamic echivalent cu un GLD, cu aceeași perioadă proprie de vibrație și aceeași forță tăietoare de bază. Forțele seismice modale maxime de nivel obținute prin distribuția forței tăietoare de bază modale în funcție de vectorul propriu de vibrație acționează ca forțe statice laterale la nivelurile structurii. Diferențele în prezentarea acestui procedeu în codul de proiectare P100-2004 față de normele anterioare constau practic în notații și în expresia spectrului de proiectare considerat.

În reglementările anterioare, pentru calculul plan, forța seismică de bază corespunzătoare modului de vibrație r se stabilea ca o fracțiune din rezultanta încărcărilor gravitaționale considerate:

$$S_r = c_r G$$

în care coeficientul seismic global are expresia:

$$c_r = \alpha k_s \beta_r \psi \varepsilon_r$$

cu semnificațiile cunoscute pentru coeficienții α , k_s , β_r , ψ și ε_r . Corespondența notațiilor cu cele din noul cod este următoarea:

$$\alpha = \gamma_I \quad \text{coeficientul de importanță, cu valori nemodificate;}$$

$$k_s = a_{\max} / g = a_g / g \quad \text{coeficient în funcție de zona seismică de calcul, care depinde de valoarea maximă a accelerației terenului } a_g, \text{ stabilită în noul cod pentru un interval mediu de recurență de 100 de ani, față de aproximativ 50 de ani în norma P100-92;}$$

$$\beta_r = S_e(T_r) / a_g \quad \text{coeficientul de amplificare dinamică în modul propriu } r, \text{ exprimat prin ordonata (corespunzătoare perioadei proprii } T_r) \text{ din spectrul de răspuns elastic al accelerațiilor absolute normalizat la accelerația maximă a terenului;}$$

$$\psi = 1 / q \quad \text{coeficientul de reducere a efectelor acțiunii seismice ținând seama de capacitățile de deformare postelastică a structurilor; este inversul factorul de comportare } q;$$

$$\varepsilon_r = \frac{\left(\sum_{i=1}^n G_i u_{i,r} \right)^2}{G \sum_{i=1}^n G_i u_{i,r}^2} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n m_i s_{i,k} \right)^2}{m \sum_{i=1}^n m_i s_{i,k}^2} = \frac{m_k}{m} = \lambda_k \quad \text{coeficientul de echivalență modală } (r \equiv k)$$

Prin asamblarea coeficienților, forța tăietoare de bază modală maximă corespunzătoare modului de vibrație $r \equiv k$ devine:

$$F_{b,k} = S_r = \gamma_I \frac{a_g}{g} \frac{S_e(T_k)}{a_g} \frac{1}{q} \lambda_k m g = \gamma_I \frac{S_e(T_k)}{q} \lambda_k m$$

Deoarece pentru $T > T_B$, $\frac{S_e(T_k)}{q} = S_d(T_k)$ reprezintă spectrul de răspuns inelastic al accelerațiilor absolute, iar $m_k = \lambda_k m$ este masa modală echivalentă, se obține în final $F_{b,k} = \gamma_I S_d(T_k) m_k$.

Noul cod admite pentru proiectarea curentă cele două procedee consacrate, metoda forțelor laterale asociate modului fundamental de vibrație și metoda calculului (spațial) modal cu spectru de răspuns, precizând condițiile în care aceste metode pot fi aplicate. Se indică

alegerea procedurii de calcul în funcție de tipul construcției – regulată sau neregulată în plan și/sau în elevație. Valorile de referință ale factorului de comportare q sunt stabilite pentru structuri cu două plane de simetrie ortogonale, regulate în plan și pe verticală. În caz contrar, valoarea de referință trebuie redusă cu 20% pentru cazul construcțiilor regulate în plan dar neregulate în elevație, respectiv cu 30% pentru structurile neregulate. Pentru structuri regulate, factorul de referință poate fi majorat.

Metoda forțelor seismice static echivalente bazate pe modul fundamental de vibrație se aplică numai în cazul structurilor care se pot reduce la sisteme plane pe două direcții ortogonale și al căror răspuns total nu este influențat semnificativ de modurile superioare de vibrație.

Dacă modul fundamental de translație are o contribuție predominantă, factorul de echivalență modal $\varepsilon_1 = \lambda$ va fi considerat 0,85 pentru $T \leq T_C$ și clădiri cu mai mult de două niveluri, respectiv 1,0 în celelalte situații. Perioada fundamentală de vibrație poate fi estimată preliminar prin una din metodele aproximative din anexa B.

Forța tăietoare de bază corespunzătoare modului propriu fundamental se distribuie la nivelul fiecărui planșeu ca forță laterală F_i proporțională cu masa de nivel m_i și cu componenta vectorului propriu fundamental s_i determinat printr-un calcul dinamic. Forma proprie fundamentală se poate aproxima printr-o variație liniară pe înălțime, în funcție de cota de nivel z_i , rezultând:

$$F_i = F_b \frac{m_i s_i}{\sum_{i=1}^n m_i s_i} \cong F_b \frac{m_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i z_i}$$

Ca și în reglementările anterioare, rezultatele obținute pentru modelele plane asociate direcțiilor principale se vor corecta datorită prezenței torsionii generale, provenită din poziția diferită la fiecare nivel a centrului de rigiditate față de centrul maselor, precum și din eventualele excentricități accidentale cauzate de o distribuție neregulată a maselor și de nesincronismul undelor seismice. Excentricitatea accidentală se consideră egală cu 5% din dimensiunea în plan a clădirii, L_i , la fiecare nivel, măsurată pe direcția perpendiculară acțiunii seismice, $e_{1i} = \pm 0,05L_i$. În normativul P100-92, excentricitatea accidentală notată e_2 se referea numai la caracterul nesincron al mișcării seismice în lungul dimensiunii respective a construcției și avea valori diferențiate, $0,05B$ sau $0,075B$, în funcție de distribuția în plan a elementelor structurale, B fiind dimensiunea maximă în plan a construcției.

Metoda principală de calcul în codul de proiectare P100-2004 rămâne metoda calculului spațial modal cu spectru de răspuns. Acțiunea seismică este reprezentată unidirecțional prin spectrul de răspuns de proiectare, în cazul structurilor regulate în plan și în elevație. Se pot efectua mai multe analize, pentru fiecare direcție de acțiune relevantă în răspunsul structurii.

Spre deosebire de normativele precedente, noul cod aduce în calculul spațial următoarele precizări:

- definirea direcțiilor principale de acțiune, prin direcția forței tăietoare de bază din primul mod de vibrație de translație și direcția normală pe aceasta;
- introducerea, pentru structuri neregulate în plan și pe verticală, a unei reguli de compunere a efectelor acțiunii seismice considerată simultan pe două direcții ortogonale din planul orizontal al structurii ($E_{Edx} \oplus 0,3E_{Edy}$; $0,3E_{Edx} \oplus E_{Edy}$), ca o alternativă la regula *rădăcina pătratică din suma pătratelor* (SRSS);
- în cazul unor situații de rezemare indirectă și la console cu deschideri mari se va lua în considerare și efectul componentei verticale a mișcării seismice, care se va combina apoi cu efectele acțiunii seismice din planul orizontal;

- diversificarea regulilor de combinare a răspunsurilor modale maxime (SRSS, CQC);
- precizarea semnelor eforturilor și deplasărilor rezultate din combinarea răspunsurilor modale maxime. Când primele două moduri proprii de vibrație de translație corespund direcțiilor principale de acțiune și valorile factorilor de participare a maselor modale efective sunt mai mari decât 0,7, se vor considera semnele efectelor asociate acestor moduri de vibrație.

Noul cod acceptă aceleași metode de calcul din normativul P100-92:

- calculul dinamic liniar cu integrarea directă a ecuațiilor diferențiale de mișcare;
- calculul static neliniar incremental (metoda biografică);
- calculul dinamic neliniar cu integrarea directă a ecuațiilor diferențiale de mișcare.

În calculul dinamic liniar și neliniar, acțiunea seismică se reprezintă prin accelerograme înregistrate în diferite amplasamente în timpul unor cutremure puternice sau prin accelerograme artificiale compatibile cu spectrul de proiectare.

Metodele de calcul static și dinamic neliniar constituie procedee de nivel superior și sunt necesare pentru:

- calculul factorului de suprarezistență α_u/α_1 , ca raport între forța tăietoare de bază corespunzătoare mecanismului de cedare și forța tăietoare de bază corespunzătoare formării primei articulații plastice;

- evidențierea mecanismelor plastice;
- evaluarea performanțelor structurale în comparație cu cerințele de ductilitate.

Calculul neliniar dinamic reprezintă o alternativă la un calcul elastic cu forțe seismice reduse prin factorul de comportare q .

Pentru calculul static neliniar se vor considera două tipuri de distribuții pe verticală a încărcărilor laterale:

- o distribuție uniformă care corespunde unor accelerații de răspuns și mase de nivel constante pe înălțime;
- o distribuție modală liniară.

În procedeele de calcul neliniar, deplasările laterale se limitează superior la deplasarea ultimă admisă.

Pentru estimarea corectă a deplasărilor de pe conturul planșeelor se va considera, în calculul spațial, efectul excentricității accidentale.

3. EVOLUȚIA MĂRIMII FORȚEI TĂIETOARE DE BAZĂ ÎN REGLEMENTĂRILE ROMÂNEȘTI DE PROIECTARE LA ACȚIUNEA SEISMICĂ

Pentru a putea examina evoluția valorilor forțelor tăietoare de bază în normele românești de proiectare la acțiuni seismice, s-au analizat două tipuri de structuri plane din beton armat:

- structură în cadre cu mai multe deschideri;
- structură cu pereți structurali.

Ambele construcții de importanță normală sunt amplasate în București, respectă criteriile de regularitate în plan și pe verticală și au un regim de înălțime de 10 niveluri. Perioada fundamentală de vibrație a structurii în cadre este de 1,0 secundă, iar perioada fundamentală a clădirii cu pereți structurali este de 0,45 secunde. Coeficienții de echivalență modală sunt 0,85, respectiv 0,75.

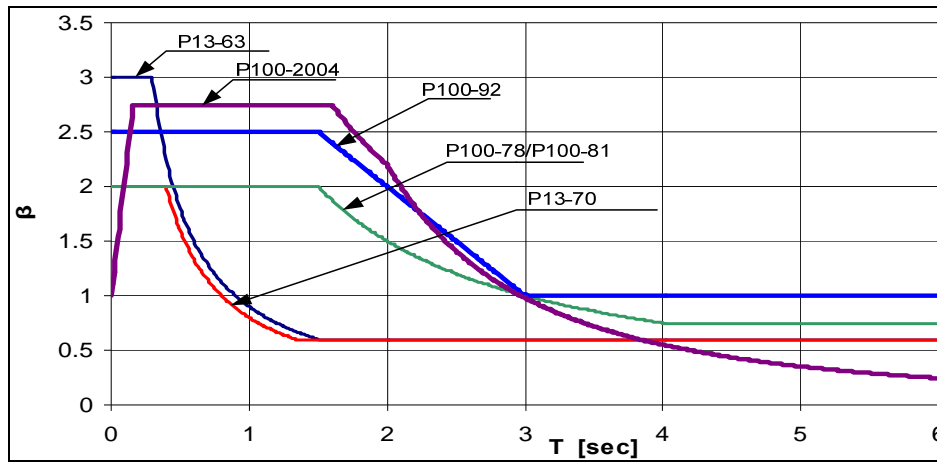


Figura 1. Evoluția mărimii coeficientului dinamic β

În Figura 1 se reprezintă, pentru orașul București ($T_C = 1,5 \text{ sec}$), evoluția factorului β , calculat conform următoarelor relații din codurile românești ($T_r = T$):

$$\text{P13-63:} \quad 0,6 \leq \beta = \frac{0,9}{T} \leq 3,0$$

$$\text{P13-70:} \quad 0,6 \leq \beta_r = \frac{0,8}{T_r} \leq 2,0$$

$$\text{P100-78/P100-81:} \quad 0,75 \leq \beta_r = \frac{3}{T_r} \leq 2,0$$

$$\text{P100-92:} \quad \begin{aligned} \beta_r &= 2,5 & T_r \leq T_C \\ \beta_r &= 2,5 - (T_r - T_C) \geq 1,0 & T_r > T_C \end{aligned}$$

Prima reglementare de proiectare la acțiuni seismice, intrată în vigoare la începutul anului 1942, introducea pentru forța tăietoare de bază o valoare constantă de 5% din rezultanta forțelor gravitaționale. Reglementarea, inspirată după normele italiene din anul 1938, distribuia forța seismică convențională uniform pe înălțimea construcției (coeficient seismic constant la fiecare nivel).

În reglementările ulterioare, forța tăietoare de bază se calcula cu relațiile:

$$\text{P13-63:} \quad S = cQ \geq 0,02Q; \quad c = k_s \beta \psi \varepsilon$$

în care ψ ține seama numai de influența materialului și structurii asupra amortizării prin frecare internă;

$$\text{P13-70:} \quad S_I = \sum_{k=1}^n S_{kl} \geq 0,02Q$$

în care S_{kl} este forța seismică orizontală convențională pentru modul propriu fundamental, iar pentru un mod propriu de vibrație r forța tăietoare de bază este

$$S_r = c_r Q; \quad c_r = k_s \beta_r \psi \varepsilon_r$$

unde $Q = \sum_{k=1}^n Q_k$ reprezintă rezultanta încărcărilor gravitaționale.

În normativele P13-63 și P13-70, clasa de importanță a construcției este inclusă în valoarea coeficientului k_s , dependent și de gradul de intensitate seismică din amplasament.

Normativele P100-78, P100-81 și P100-92 păstrează aceeași relație pentru calculul forței tăietoare de bază. Coeficientul de importanță al construcției α introdus în normativul P100-78 cu valorile 1,4; 1,2; 1,0 și 0,8 se regăsește în codul P100-2004 sub notația γ_1 .

Conform normativului P100-1/2004, pentru cazul în care se consideră numai modul fundamental, forța tăietoare de bază se calculează cu relația:

$$F_b = \gamma_1 S_d(T_1) m \lambda$$

În tabelele 1 și 2 se prezintă comparativ, pentru cele două tipuri de structuri analizate, valorile coeficientului seismic global, precum și modificările acestor valori prin raportare la instrucțiunile din 1941 și la normativul P100-92.

În figurile 2 și 3 se prezintă evoluția coeficientului seismic global în funcție de reglementările considerate.

Tabelul 1

Structuri în cadre din beton armat cu mai multe deschideri; regim de înălțime P+9E

Construcție de importanță normală $T_1 = 1,0 \text{ sec}$, $\varepsilon_1 = 0,85$

Reglementare	β	k_s	$\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$	ψ	c	Diferențele coef. c în % față de		
						1941	1992	
Instrucțiuni provizorii 1941	-	-	-		0,050	0,00	-41,18	
P13-63	0,90	0,05	-	1,200	0,046	-8,20	-46,00	
P13-70	0,80	0,05	-	1,000	0,034	-32,00	-60,00	
P100-78/P100-81	2,00	0,20	-	0,200	0,068	+36,00	-20,00	
P100-92	2,50	0,20	-	0,200	0,085	+70,00	0,00	
P100-1/2004	2,75	0,24	c_1^*	1,00	0,200	0,112	+124,40	+32,00
			c_2^*	1,35	0,148	0,083	+66,22	-2,20
			c_3^*	1,62	0,125	0,070	+40,20	-17,50

Notă *: Cazurile c_1 , c_2 și c_3 se referă la o clădire regulată în elevație care se încadrează în clasa H de ductilitate, $q = 5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$. Coeficientul α_u/α_1 , denumit factor de suprazrezistență, se poate determina pe baza unui calcul biografic plan sau spațial sau exprimând condiția de echilibru limită prin ecuația de lucru mecanic virtual.

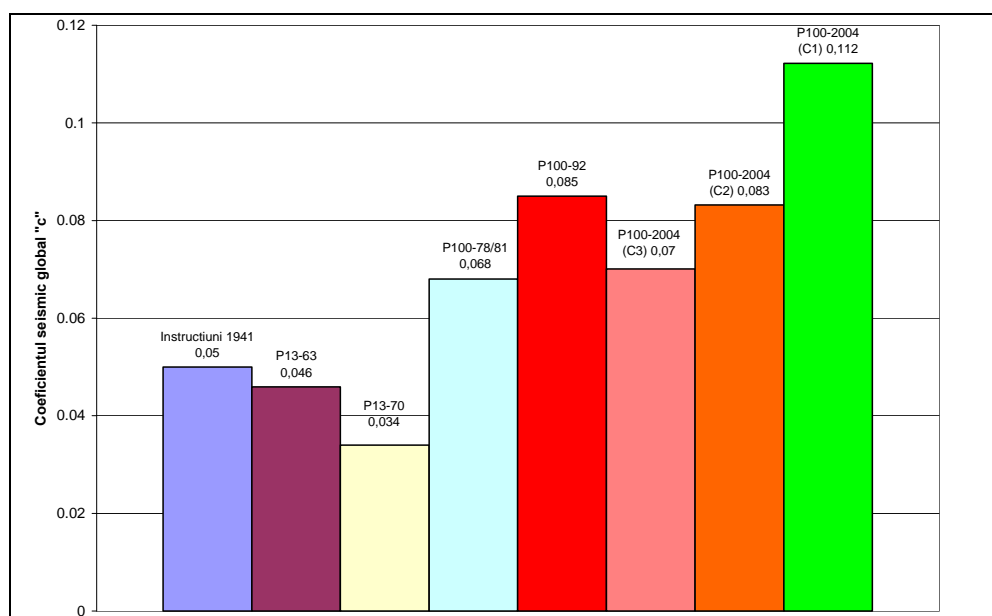


Figura 2. Evoluția coeficientului seismic global pentru structuri în cadre din beton armat cu mai multe deschideri și regim de înălțime P+9E ($T_1 = 1,0 \text{ sec}$, $\varepsilon_1 = 0,85$)

Tabelul 2

Structuri cu pereți structurali din beton armat; regim de înălțime P+9E
 Construcție de importanță normală $T_1 = 0,45\text{sec}$, $\varepsilon_1 = 0,75$

Reglementare	β	k_s	$\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$		ψ	c	Diferențele coef. c în % față de	
							1941	1992
Instrucțiuni provizorii 1941	-	-	-		-	0,050	0,00	-46,67
P13-63	2,00	0,05	-		1,000	0,075	+50,00	-20,00
P13-70	1,78	0,05	-		1,200	0,080	+60,00	-14,67
P100-78/P100-81	2,00	0,20	-		0,250	0,075	+50,00	-20,00
P100-92	2,50	0,20	-		0,250	0,094	+87,50	0,00
P100-1/2004	2,75	0,24	a_1^*	1,00	0,250	0,124	+147,50	+32,00
			b_1^*	1,15	0,217	0,108	+115,22	+14,48
			a_2^*	1,20	0,208	0,103	+106,25	+9,71
			b_2^*	1,38	0,181	0,090	+79,35	-4,60

Notă*: Cazul a_1 corespunde sistemelor cu numai doi pereți în fiecare direcție; cazul b_1 corespunde structurilor cu mai mulți pereți. Factorul de comportare $q = 4 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$, corespunzător unei structuri regulate în elevație și o clasă de ductilitate H, poate fi majorat cu 20% pentru o construcție perfect regulată în plan și în elevație și în cazul unor condiții de execuție perfect controlate (cazurile a_2 și b_2).

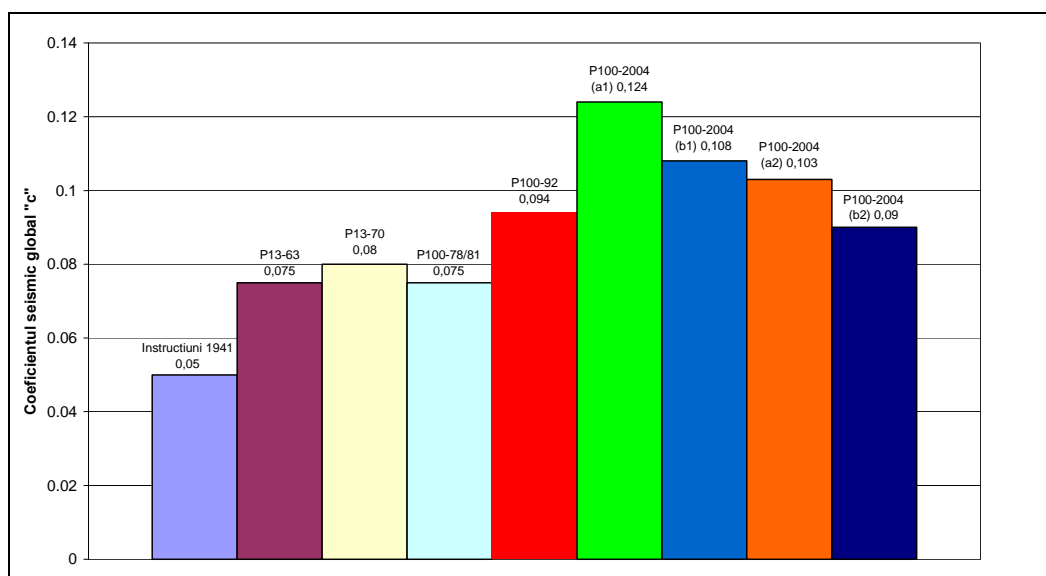


Figura 3. Evoluția coeficientului seismic global pentru structuri cu pereți structurali din beton armat și regim de înălțime P+9E ($T_1 = 0,45\text{ sec}$, $\varepsilon_1 = 0,75$)

4. CONCLUZII

Reglementările pentru proiectarea construcțiilor amplasate în zone seismice depind de tipul de structură, de caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor utilizate, de condițiile seismice de amplasament și, nu în ultimul rând, de nivelul de cunoaștere.

Cutremurele sunt fenomene complexe ale căror caracteristici seismologice și efecte asupra construcțiilor se cunosc numai după producerea evenimentului. Ca urmare, reprezentările acțiunii seismice pentru proiectare trebuie fundamentate pe modele probabiliste capabile să realizeze predicții asupra caracteristicilor mișcărilor seismice așteptate într-un amplasament precizat.

Înregistrările unor mișcări seismice puternice și acumularea cunoștințelor privind efectele distructive ale cutremurelor asupra construcțiilor au permis corectarea și perfecționarea reglementărilor destinate asigurării unui grad corespunzător de protecție seismică.

Chiar dacă în codul de proiectare P100-1/2004, forțele seismice de calcul au crescut semnificativ față de vechea normă P100-92, există totuși posibilitatea reducerii acestor forțe prin considerarea rezervelor de rezistență. Aceste rezerve pot fi controlate prin metode de calcul de nivel superior, capabile să detecteze incursiunile în domeniul postelastice în cazul unui cutremur major.

Acceptarea unor valori sporite pentru forța tăietoare de bază este de fapt *tributul* care trebuie plătit în cazul unor structuri neregulate (în plan și în elevație), dar și în cazul în care proiectantul *nu stăpânește pe deplin* conceptele moderne de proiectare și de cuantificare a rezervelor de rezistență structurale.

BIBLIOGRAFIE

1. Beleş A., Ifrim M., *Elemente de seismologie inginerească*, Editura Tehnică, București, 1962
2. Chopra A. K., *Dynamics of Structures*, Prentice Hall, 2001;
3. Dubină D., Lungu D., *Construcții amplasate în zone cu mișcări seismice puternice*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2003
4. Ifrim M., *Dinamica Structurilor și Inginerie Seismică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984;
5. Mazzolani F. M., Piluso V., *Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames*, E&FN Spon, 1996;
6. Wilson E.L., *Three – Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*, Computers and Structures Inc, Berkley, California, USA, 2002
7. * * *, *Normativ condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice P13-63*, Editura Tehnică, București, 1964;
8. * * *, *Normativ pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice P13-70*, Editura Tehnică, București, 1971;
9. * * *, *Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale P100-78*, INCERC, București, 1978;
10. * * *, *Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale P100-81*, INCERC, București, 1982
11. * * *, *Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale P100-92*, Buletinul Construcțiilor, vol. 2, MLPAT, 1992
12. * * *, *Cod de proiectare seismică – Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri – P100-1/2004*, Buletinul Construcțiilor, vol. 5, INCERC, 2005
13. * * *, *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance- Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings EN 1998-1*, European Committee for Standardization, , December 2004
14. * * *, *ASCE 7-98, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of Civil Engineers, 2000
15. * * * , *ASCE 4-98, Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary*, American Society of Civil Engineers, 1999
16. * * * , *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for new Buildings and other Structures (FEMA 450)*, Building Seismic Safety Council, 2003