

Aspecte referitoare la estimarea capacității la forță tăietoare a pereților din beton armat. Comentarii referitoare la calculul driftului

Mihai PAVEL¹, Lucian STANCIU², Laurențiu BURLACU³,
Constantin PAVEL⁴,

În problema calculului la forță tăietoare a pereților din beton armat conform normativului CR2-1-1.1/2005 apar unele aspecte cu caracter restrictiv care conduc la dificultăți în dimensionarea și armarea acestora.

Pentru a aduce unele lămuriri privitoare la acest subiect, s-a efectuat un studiu parametric comparativ al rezultatelor aplicării principalelor norme de proiectare privitoare la acest subiect (românească, europeană, americană și japoneză).

În a doua parte a articolului se fac unele comentarii privitoare la calculul driftului, respectiv la influența forțelor axiale asupra acestui parametru de calcul. În anexa E din normativul P100-2006 se fac unele precizări care necesită lămuriri suplimentare atât de natură calitativă cât și cantitativă.

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea din ultimii ani a fondului construit, în care se manifestă tendința creșterii continue a înălțimii clădirilor, a dus la generalizarea folosirii ca elemente verticale structurale a pereților de beton armat.

Apar sisteme complexe de pereți care pun probleme dificile de modelare pentru calcul, dimensionare și armare.

Una din problemele din această categorie o constituie calculul pereților la forță tăietoare, în special pe zonele potențial plastice.

Această complexitate se reflectă și în faptul că folosirea în proiectare a diferitelor norme de calcul duc la rezultate semnificativ diferite între ele. Aceasta arată că există diferențe de abordare și de valorificare a datelor experimentale folosite pentru fundamentarea normelor.

Sunt necesare eforturi de cercetare care să ducă la o apropiere cât mai mare a prevederilor de calcul din principalele norme de proiectare seismică pe plan mondial, având în vedere faptul că fenomenologia comportării elementelor la aceeași tip de solicitare este unică.

În prezenta lucrare se încearcă o evidențiere a diferențelor rezultatelor obținute prin aplicarea diferitelor norme de calcul, în vederea obținerii unei baze de discuții cu scopul reducerii diferențelor constatate.

Prima parte a articolului prezintă succint, rezultatele dimensionării unui sistem de pereți cuplați care face parte dintr-o structură reală, aflată în curs de execuție, într-o zonă seismică importantă din România. Calculul de dimensionare s-a efectuat după norma românească CR2-1-1.1/2005 și comparativ după principalele norme de proiectare seismică existente (Eurocode 8, ACI 318-05, AIJ 1994). Deasemenea, se prezintă rezultatele unui studiu parametric referitor la compararea capacității la forță tăietoare a unui perete, determinată după normele mai sus amintite.

¹ Ing. S.C. Altfel Construct S.R.L. , București

² Ing. S.C. Altfel Construct S.R.L. , București

³ Ing. S.C. Altfel Construct S.R.L. , București

⁴ Prof.Univ.Cons.Dr.Ing., Universitatea Tehnică de Construcții București

A doua parte a articolului aduce în atenție o formulare din P100-2006, anexa E, referitoare la verificarea structurilor la condiția de drift, la starea limită de serviciu. Pentru definirea mărimii d_r , în anexa amintită se prezintă următoarea formulare “ d_r = deplasarea relativă a aceluiași nivel, determinată prin calcul static elastic sub încărcări seismice de proiectare). Se ia în considerare numai componenta deformației care produce degradarea pereților înrâmați, extrăgând partea datorată deformațiilor axiale a stâlpilor în cazul în care aceasta are o contribuție semnificativă la valoarea deformației totale”. Se fac comentarii și precizări asupra acestei formulări, și se exemplifică numeric prin prezentarea unor cazuri particulare.

2. DIMENSIONAREA COMPARATIVĂ A UNUI SISTEM DE PEREȚI CUPLAȚI

Sistemul de pereți cuplați prezentat în cele ce urmează este parte componentă a unei structuri cu regim de înălțime 2S+P+18E, în curs de execuție, amplasat în Ploiești. În alcătuirea acestui sistem intervin 5 montanți cu dimensiunile secțiunii transversale de 50x200 cm, respectiv 50x600 cm. Cuplarea se realizează prin grinzi cu dimensiunile de 50x80 cm, și cu deschiderea de 1,00 m. Înălțimea totală a sistemului este de 60,00 m. Materialele folosite sunt beton C32/40, respectiv oțel PC52. Greutatea totală a structurii este de aproximativ 25000 tone, iar forța seismică convențională reprezintă 17% din această greutate. Sistemul structural este prezentat în fig. 1.

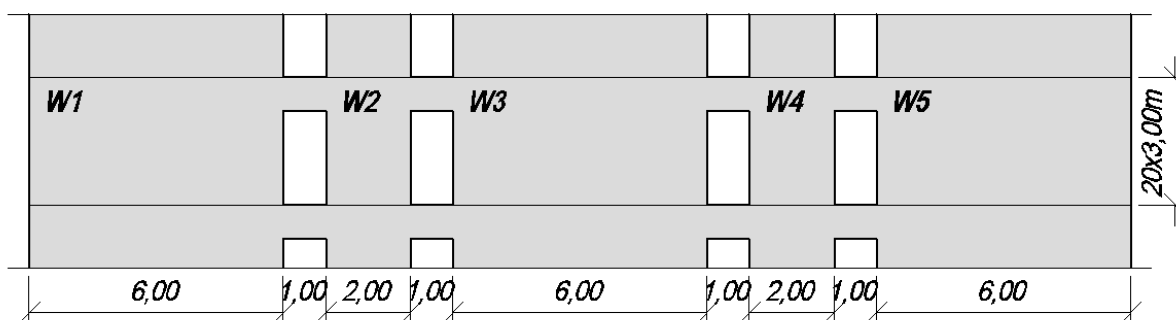


Fig. 1. Schematizarea sistemului structural de pereți cuplați

Calculul comparativ de dimensionare s-a efectuat după normele de calcul românești, europene, americane și japoneze. Pentru a putea face posibilă comparația, s-a menținut constant, ca parametru de intrare, nivelul de încărcare atât gravitațional cât și seismic (forțele orizontale normate conform P100-2006). În urma aplicării relațiilor de dimensionare a pereților la încovoiere cu forță axială, respectiv forță tăietoare au rezultat valorile procentuale ale coeficienților de armare verticală, respectiv orizontală, prezentate în tabelele 1 și 2.

Tabelul 1 – Rezultatele dimensionării la încovoiere cu forță axială

	Perete	P_{inima} (%)	P_{bulbi} (%)
CR2-1-1.1/2005 STAS10107/1990	W3	0,402%	2,463%
	W2(W4)	0,308%	1,508%
	W5(W1)	0,838%	3,079%
SR EN1998-1/2004 SR EN1992-1-1/2004	W3	0,402%	1,963%
	W2(W4)	0,308%	0,965%

	W5(W1)	0,402%	1,963%
ACI318/2005	W3	0,402%	1,963%
	W2(W4)	0,308%	0,965%
	W5(W1)	0,402%	1,963%
AIJ 1994	W3	0,402%	1,963%
	W2(W4)	0,308%	0,965%
	W5(W1)	0,402%	1,963%

Tabelul 2 – Rezultatele dimensionării la forță tăietoare

Perete	CR2-1-1.1 %	SR EN1998 %	ACI318 %	AIJ 1994 %
W3	0,652%	0,541%	0,530%	0,250% *
W2(W4)	0,263%	0,258%	0,250%*	0,250% *
W5(W1)	1,010%	0,603%	0,448%	0,710%

*- 0,250% reprezintă procentul minim de armare transversală

Pentru ușurința urmăririi calculelor de dimensionare la forță tăietoare sunt prezentate, sub formă grafică, rezultatele capacității la forță tăietoare a betonului, după cele patru norme, (Fig.2), respectiv cerințele de armare transversală (Fig.3). Mărimile de ieșire din normativul CR2-1-1.1./2005 s-au considerat de referință, adoptând pentru ele valori unitare, celelalte fiind prezentate în funcție de acestea. Rezultatele obținute pentru montantul W5 sunt valabile și pentru montantul W1, iar cele pentru W4 sunt valabile și pentru W2, pe considerente de armare simetrică impusă de caracterul ciclic al încărcării orizontale seismice. Armarea verticală a montanților W1 și W5 supuși la încovoiere cu forță axială rezultă pentru situația în care forța axială are sens de întindere (solicitare de întindere excentrică). Dimensionarea armăturii orizontale pentru aceeași montanți rezultă din situația în care forța axială din acești montanți este de compresiune (solicitare de compresiune excentrică).

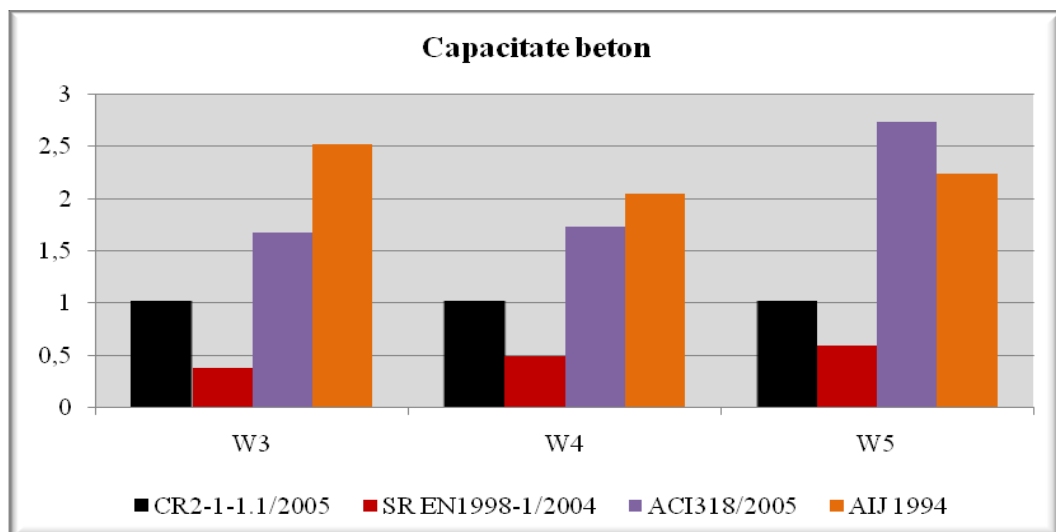


Fig.2. – Capacitatea comparativă la forță tăietoare a betonului

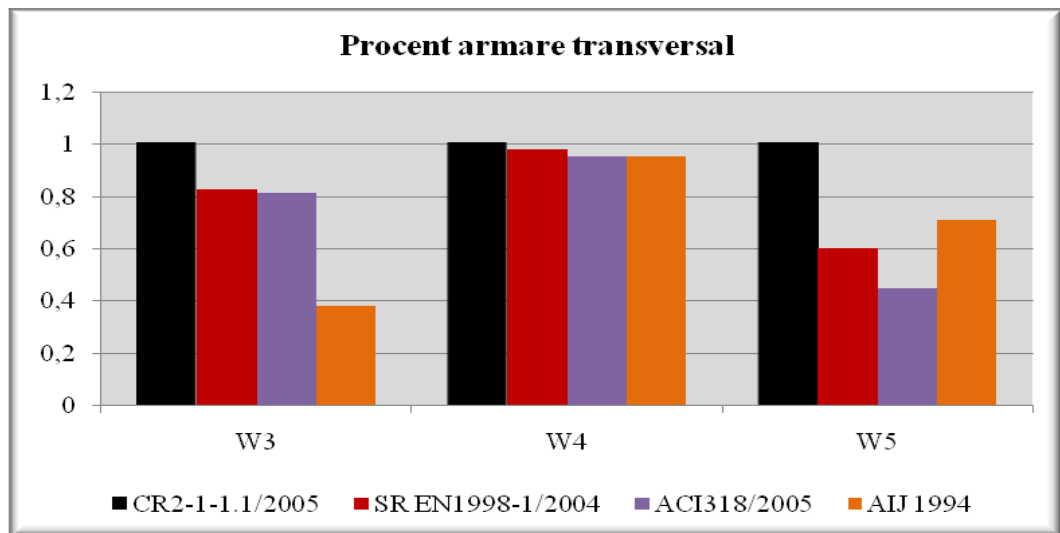


Fig.3. – Necesarul comparativ de armătură orizontală

Figura 2 pune în evidență faptul că în normele românești și europene, pentru capacitatea betonului se adoptă valori mult inferioare celor din normele japoneze și americane. În ecuațiile de dimensionare pentru capacitatea betonului, în normele japoneze și americane, se adoptă valori de până la 2,5 ori mai mari decât în norma românească. Armarea transversală rezultată din aplicarea codului românesc (fig.3) duce la rezultatele cele mai acoperitoare, chiar și în comparație cu norma europeană, datorită faptului că în norma românească se adoptă valori sporite pentru coeficienții de siguranță ai rezistențelor materialelor.

3. STUDIU PARAMETRIC PRIVIND CAPACITATEA LA FORȚA TĂIETOARE

Capacitatea la forță tăietoare a unui perete de beton armat depinde de unii parametri esențiali cum ar fi : nivelul de forță axială, rezistența la compresiune (întindere) a betonului, raportul M/Qh , precum și cantitatea de armătură orizontală și verticală existente în elementul de beton armat. Cele patru norme de referință folosesc în mod diferit influența acestor parametri. Astfel, în norma românească capacitatea betonului la forță tăietoare este în directă relație cu rezistența sa la întindere, în timp ce toate celelalte norme folosesc ca mărime de referință rezistența betonului la compresiune. Normele americane, japoneze și europene descriu capacitatea la forță tăietoare ca fiind și funcție de factorul M/Qh . Deasemenea în normele europene și japoneze este întâlnit ca parametru de intrare și procentul de armare verticală.

Studiul parametric propus are ca obiect variația parametrilor principali care guvernează răspunsul la forță tăietoare, conform normelor românești, europene, americane și japoneze și monitorizarea influenței lor asupra forței tăietoare capabile. Ca model de calcul s-a considerat zona de la baza montantului W5. În fig. 4,5,6 și 7 sunt prezentate variația forței tăietoare capabile în funcție de nivelul de încărcare axial, în funcție de clasa de beton, de procentul de armare orizontală și, în final, în funcție de raportul M/Qh ;

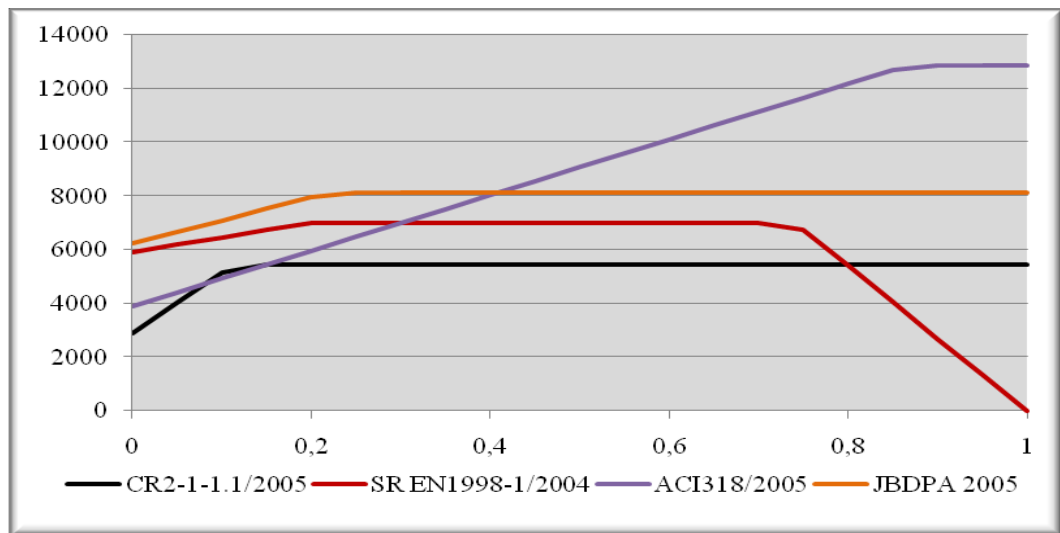


Fig.4. – Variația capacității la forță tăietoare în funcție de nivelul solicitare axial

Așa după cum reiese din analiza fig.4, de la un nivel al forței axiale adimensionalizate de peste 0,15 capacitatea la forță tăietoare exprimată după norma românească este limitată, ea exprimându-se numai în funcție de rezistența la întindere a betonului. Celelalte norme, în schimb beneficiază de aportul pozitiv al forței axiale și pentru pereți mai comprimați, rezultând astfel capacități superioare.

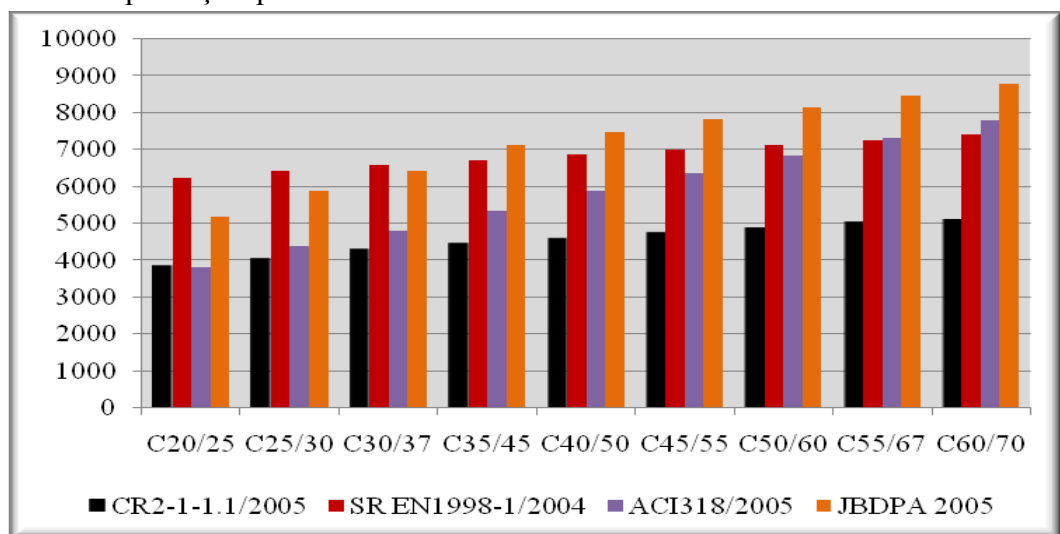


Fig.5. – Variația capacității la forță tăietoare în funcție de clasa betonului (n=0,30)

Odată cu modificarea clasei de beton, rezistența la compresiune a betonului are o creștere mult mai rapidă decât cea la întindere. Acest efect este ilustrat în fig. 5. Relațiile de calcul oferite de către norma românească, care asociază capacitatea betonului cu un procent din rezistența sa la întindere, oferă valori conservative în raport cu celelalte norme, nebeneficiind astfel de celelalte avantaje pe care le oferă folosirea betoanelor de înaltă rezistență.

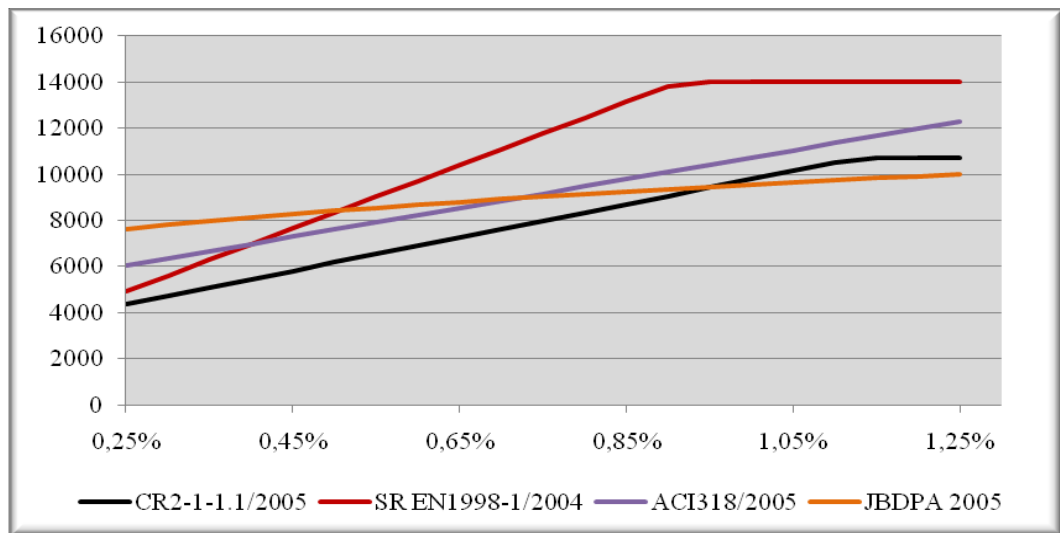


Fig.6. – Variația capacității la forță tăietoare în funcție de procentul de armare orizontală

Fig. 6. prezintă comparativ rezultatele obținute pentru cele patru norme, în cazul variației parametrice a cantității de armătură orizontală. Creșterea armării transversale are, în principiu, ca rezultat o creștere liniară a capacității la forță tăietoare. Se observă, în continuare, că relațiile puse la dispoziție de către normativul CR2-1-1.1/2005 sunt cele mai restrictive. Calculele ilustrate în fig. 6 au fost efectuate considerând un nivel adimensionalizat al forței axiale de 0,3.

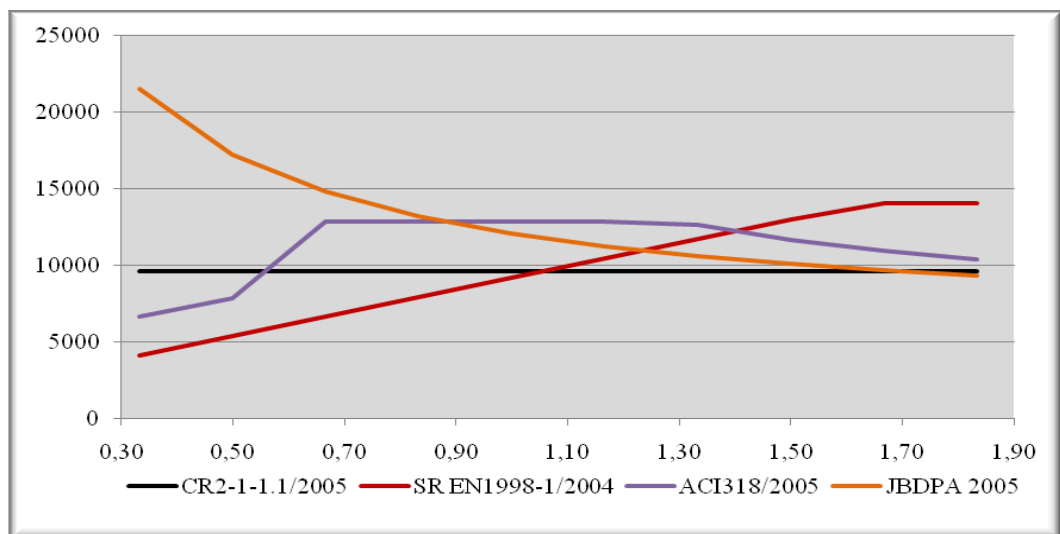


Fig.7. – Variația capacității la forță tăietoare în funcție de factorul M/Qh

Relațiile de calcul din normele europene, americane și japoneze au în componență factorul de formă M/Qh. Pentru pereții calculați în cadrul prezentului studiu, având o geometrie și un nivel de încărcare uzuală au rezultat factori între 1,2 și 1,70. Analiza fig. 7 arată că pentru aceste valori nu rezultă diferențe foarte mari între cele 4 norme. Codul CR2-1-1.1./2005 nu include acest parametru în calculul la forță tăietoare al pereților din beton

armat. Totuși, ignorarea acestui parametru în domeniul de valori 1,20..1,70 duce la obținerea unor capacități mai scăzute.

4. ASPECTE PRIVIND CALCULUL DRIFTULUI ÎN P100-2006

Anexa E din P100-2006 definește deplasarea relativă de nivel, d_r , asociate stării limită de serviciu, ca fiind “ deplasarea relativă a aceluiași nivel, determinată prin calcul static elastic sub încărcări seismice de proiectare. Se ia în considerare numai componenta deformației care produce degradarea pereților înrâmați, extrăgând partea datorată deformațiilor axiale a stâlpilor în cazul în care aceasta are o contribuție semnificativă la valoarea deformației totale”. Față de această exprimare a noțiunii de drift considerăm că sunt necesare anumite precizări de ordin calitativ și cantitativ care să permită calculul cu mai multă acuratețe a acestui parametru.

Prima precizare se referă la faptul că driftul definește o mărime referitoare la deplasarea relativă între două niveluri succesive și deplasarea aceluiași nivel, cum este formulat în normă.

Nu este suficient de clar care este componenta deformației care produce degradarea pereților înrâmați și deasemenea cum trebuie extrasă partea datorată deformației axiale a stâlpilor. Rezultă din formularea din normă că precizarea este valabilă numai pentru structuri în cadre, întrucât se referă la deformațiile axiale din stâlpi. Nu rezultă cum trebuie tratată problema driftului la structurile cu pereți de tip consolă sau cuplați sau la structurile duale unde elementele structurale verticale sunt fie stâlpi, fie pereți.

Cât privește deformarea axială a stâlpilor, în normă se precizează că trebuie extrasă partea datorată deformației axiale a stâlpilor, **în cazul în care aceasta are o contribuție semnificativă la valoarea deformației totale**. Nu rezultă cum poate fi cuantificată contribuția “semnificativă” la valoarea totală a deformației.

În cele ce urmează se prezintă unele aspecte cantitative privind influența deformației din forță axială a stâlpilor. Pentru exemplificare s-au analizat două cazuri particulare, prezentate în fig. 8.

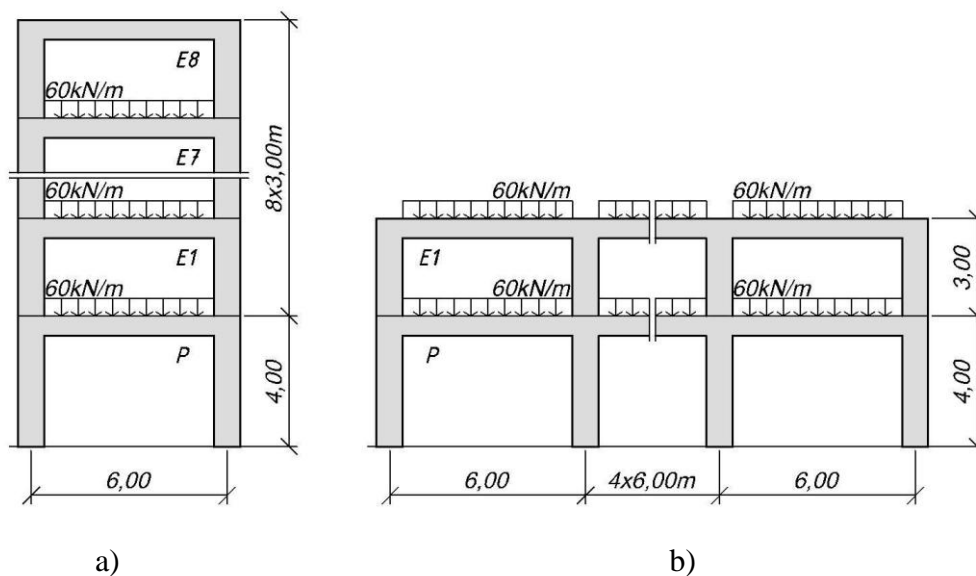


Fig.8. – Cazuri particulare ilustrative pentru analiza cantitativă a deformației axiale în calculul driftului

În fig. 8 a) cadrul are o singură deschidere și un număr important de niveluri. Forța axială din ambii stâlpi este influențată semnificativ de forța tăietoare din grinzi, în toate etapele de deformare, până la situația limită a formării mecanismului de plastificare.

În fig. 8 b) este prezentat un cadru cu un număr mic de niveluri și cu un număr mare de deschideri. Forța axială din stâlpi este influențată de mecanismul de plastificare a cadrului la încărcări orizontale numai în stâlpii marginali, datorită forței tăietoare unilaterale din grinzile care reazemă pe acești stâlpi. Pentru stâlpii interiori forța axială rămâne practic constantă, întrucât forța tăietoare din grinzile adiacente se anulează reciproc.

Pentru cadrele din fig. 8 a) și b) s-a efectuat calculul seismic elastic convențional conform P100-2006 și s-au calculat drifturile aferente celor două situații, atât în ipoteza considerării deformației axiale cât și în cea a ignorării sale. Rezultatele sunt prezentate în fig. 9 și 10.

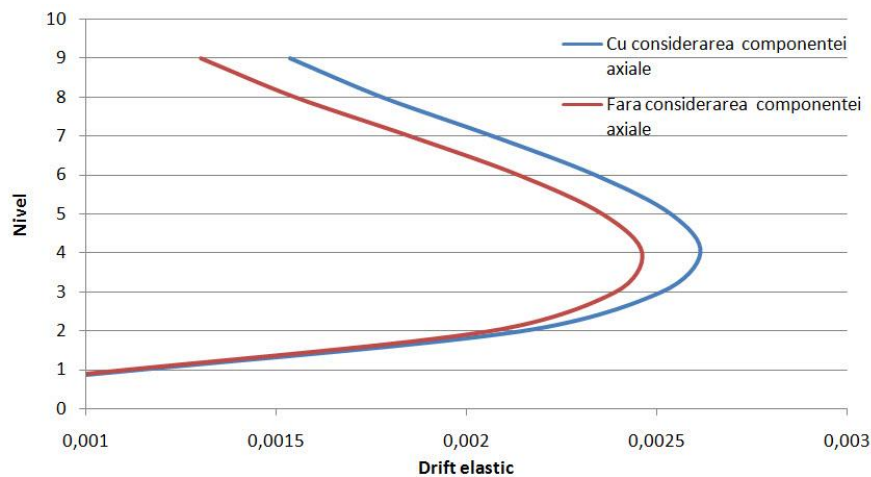


Fig.9. – Driftul pentru cadrul din fig 8 a)

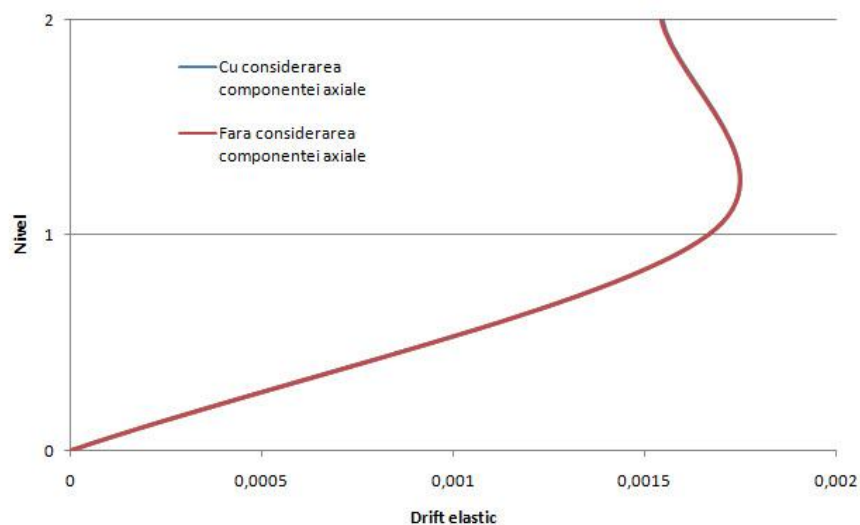


Fig.10. – Driftul pentru cadrul din fig 8 b)

Din fig. 9 și fig. 10 rezultă că, în limitele ipotezelor calculului seismic convențional elastic, variația de drift este de maxim 6% pentru cadrul înalt cu o singură deschidere și este practic neglijabilă pentru cadrul cu mai multe deschidere și cu regim redus de înălțime. Având în vedere gradul de precizie, indus de diferitele ipoteze simplificatoare adoptate, al calculului seismic convențional elastic se poate admite că sporul de drift datorat efectelor forțelor axiale în stâlpi are o pondere nesemnificativă, fiind de ordinul de mărime al erorilor de calcul. În același timp, calculul efectuat fără eliminarea efectului forțelor axiale în stâlpi are caracter acoperitor. Rezultă că se poate renunța, în calculul driftului la starea limită de serviciu, la aportul forțelor axiale din stâlpi, calculul având în acest fel un caracter acoperitor.

5. CONCLUZII

Rezultatele calculelor de dimensionare și verificare a pereților la forța tăietoare arată existența unor diferențe substanțiale între cele patru norme de calcul analizate. Aplicarea normei românești CR2-1-1.1/2005 a dus, în toate cazurile, la rezultatele cele mai restrictive. Aceasta sugerează că pot fi întreprinse anumite demersuri în vederea armonizării normei românești menționate cu celelalte norme de referință pe plan mondial. În particular, ar apare oportună considerarea pentru exprimarea capacității betonului la forță tăietoare a rezistenței la compresiune a betonului în locul celei la întindere.

Privitor la calculul driftului sunt de făcut unele precizări, corecții și completări. O precizare se referă la definirea deplasării relative d_r care se referă la două niveluri vecine și nu la “deplasarea relativă a aceluiași nivel”. O altă precizare se referă la influența forței axiale din stâlpi asupra mărimii driftului. Se poate admite, cu caracter acoperitor, că nu este necesară, pentru cazurile curente, eliminarea influenței deformațiilor produse de forța axială. În textul normei trebuie să se facă o referire și la semnificația și calculul driftului pentru structuri care au toate elementele verticale structurale de tip pereți din beton armat, cum și pentru structurile duale cu pereți și cadre.

BIBLIOGRAFIE

1. AIJ (1994) – Structural Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings, Architectural Institute of Japan.
2. ACI 318M-05 – Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary – American Concrete Institute.
3. CR-2-1-1.1 (2005) – Cod de proiectare a structurilor cu pereți structurali de beton armat – Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului.
4. EN 1992-1-1:2004 – Eurocode 2 - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
5. prEN 1998-1:2003 – Eurocode 8 – Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings ;
6. PI00-2006 – 1 – Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri. – Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului.
7. Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings (2001) – The Japan Building Disaster Prevention Association.