

Evaluarea tasărilor admisibile ale clădirilor existente în vecinătatea unor construcții în curs de execuție

M. Coman

S.C. POPP & ASOCIAȚII S.R.L., București

Cuvinte cheie: tipuri de clădiri, domeniul valorilor admisibile, gradul de asigurare la acțiuni seismice

REZUMAT: Se analizează comparativ tasările admisibile recomandate în norme și în literatura tehnică pentru diferite tipuri de structuri. Pentru construcțiile existente, situate în vecinătatea unor clădiri noi, în curs de execuție, se propune afectarea limitelor de tasare recomandate în norme cu factorul de “asigurare” la risc seismic (R). Se studiază efectul acestor tasări reduse asupra structurii unor clădiri de tip curent.

1 INTRODUCERE

Realizarea unei clădiri determină întotdeauna și deformații ale terenului în interiorul și în afara amprizei construcției. Deformațiile terenului sunt generate de diverse cauze. Acestea sunt înregistrate încă din timpul excavației, altele pe parcursul execuției, precum și pe perioada exploatarei clădirii noi. Schimbarea stării de tensiuni și deformații în teren se întâlnește pe un areal numit zonă de influență. În zona de influență deformațiile terenului pot fi de ordinul centimetrilor, până la submultipli ai milimetrului. Suprafața în plan unde deformațiile terenului pot afecta clădirile existente, din vecinătatea construcției noi, se regăsește pe o zonă mult mai restrânsă pe care o putem numi - zona afectată (vezi Figura 1).

2 PROPUNERI PRIVIND DEFORMAȚIILE ADMISIBILE

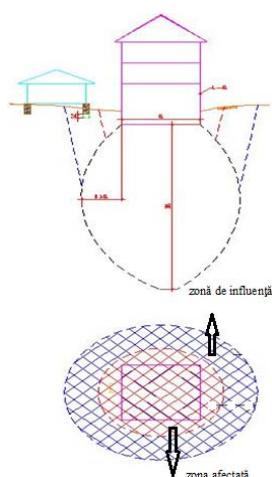


Figura 1. a) Secțiune verticală prin bulbul activ aflat sub clădire

b) Prezentare sintetică a zonei de influență și a zonei afectate

În interiorul zonei afectate sunt stabilite acele valori ale deformațiilor terenului prin norme pentru diferite tipuri de construcții ([1]). Dar în aceleași norme se face referire doar la construcțiile în stare bună, cu structura nealterată, fără a se specifica despre clădirile existente care au suferit degradări din diverse cauze. Este cunoscut faptul că în zonele cu un grad mare de seismicitate, majoritatea clădirilor existente au suferit degradări. Din categoria clădirilor existente cu rigiditatea

afectată, nu fac parte numai clădirile care au avut la bază un calcul strict gravitațional, ci și acelea la care au funcționat în timpul cutremurului mecanismele de plastificare. Acestea din urmă, chiar dacă au beneficiat de un calcul seismic, în urma mișcărilor tectonice s-au declanșat mecanismele de disipare a energiei, adică s-au format articulații plastice, iar în lipsa unor reparații, clădirile sunt expuse în fața unui nou seism de intensitate mare. Cele două tipuri de structuri cu rigiditate degradată, descrise mai sus, prezintă, de obicei, o capacitate redusă de a prelua eforturile suplimentare generate de o tasare neuniformă.

În țara noastră, aprecierea capacității portante a unei clădiri cu structură degradată se realizează după metodologiile indicate în P100-3/2008 [2], normativ pentru expertizarea clădirilor existente. În norma menționată, se indică evaluarea calitativă și/sau prin calcul a structurilor existente determinându-se în finalul acesteia indicatorii R_1 , R_2 și R_3 – reprezentați generic în prezentul articol cu **R**. Indicatorul **R**, cunoscut în norma precedentă sub denumirea de valoarea gradului nominal de asigurare la acțiuni seismice, este cuprins între limitele de valori 0...1 și reprezintă măsura în care sistemul structural îndeplinește cerințele de rigiditate și stabilitate:

$$R = S_{\text{cap}} / S_{\text{necesar}}$$

S_{cap} - încărcarea seismică convențională capabilă a construcției;

S_{necesar} - încărcarea seismică convențională, considerând construcția existentă respectivă ca o construcție nouă și proiectată la nivelul de siguranță conform P100-3/2008.

În funcție de valoarea raportului sus menționat, clădirile existente se încadrează în patru clase de risc seismic:

RSI - corespunzător clădirilor cu risc ridicat de prăbușire - ($R = 0-0.35$);

RSII - corespunzător clădirilor la care sunt așteptate degradări structurale majore – ($R = 0.35-0.65$);

RSIII - corespunde construcțiilor la care sunt așteptate degradări structurale care nu afectează semnificativ siguranța structurală - ($R = 0.66-0.90$);

RSIV - unde răspunsul seismic așteptat este similar celui corespunzător construcțiilor noi - ($R = 0.91-1.00$) [2].

Pe plan mondial funcție de experiența birourilor de cercetare din domeniul geotehnicii s-au emis mai multe recomandări cu caracter local cu privire la deformațiile maxime ale clădirilor existente. În acest domeniu, mai mult față de altele, metodele de calcul ale deformațiilor terenului au fost adaptate pas cu pas, în special prin compararea cu rezultatele măsurătorilor din situ. Chiar și așa formulele matematice nu sunt universal valabile pentru toate zonele unde necunoscutele principale sunt: stratificația terenului și rigiditatea structurii afectate de tasare.

În continuare este prezentată limitarea valorilor deformațiilor structurale și a deplasărilor fundației, indicate în SR EN 1997-1:2006 [1].

Rotirea relativă acceptabilă maximă pentru structuri în cadre portante cu umplutură de zidărie sau pereți din zidărie continui, trebuie să fie cuprinsă între limitele:

1/2000 până la 1/300.

O rotire relativă maximă acceptată și recomandată pentru multe structuri este de **1/500**, iar rotirea relativă de **1/150** este foarte probabil să cauzeze un stadiu ultim.

Valorile menționate ale rotirii relative se aplică la tipurile de deformare ca cea ilustrată în figura 2b.

În cazul deformării sistemului de fundare în *șă* (vezi Figura 2a.), adică tasările de la capete structurii sunt mai mari decât cele de la mijlocul deschiderii, valoarea limită trebuie să fie înjumătățită.

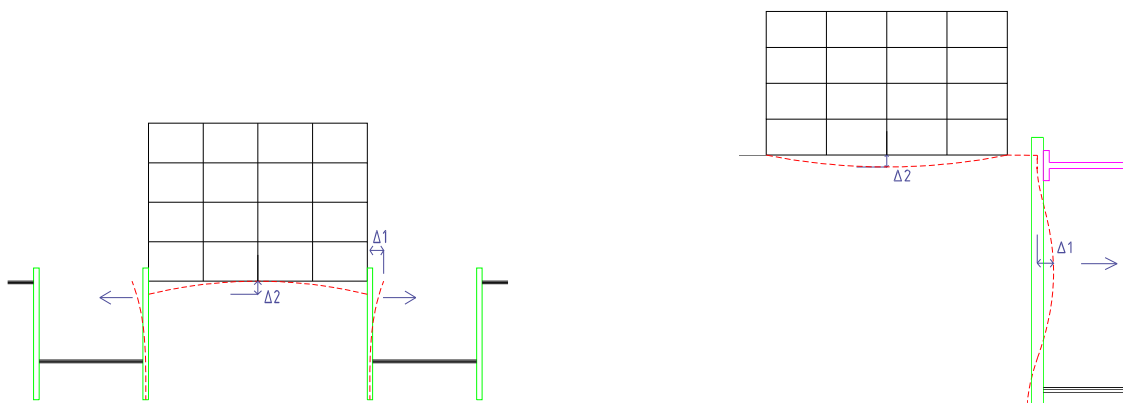


Figura 2. Exemplu de deformări ale clădirilor aflate în zonele de influență

(a) Boltire

(b) Covătire

Pentru structuri normale, cu fundații izolate, tasările totale de până la **50 mm** sunt de obicei acceptabile. Tasări mai mari pot fi acceptate, cu condiția ca rotirile relative să rămână în limitele acceptabile și cu condiția ca tasările totale să nu cauzeze probleme cu accesul în clădire sau să crească eforturile în structură datorită înclinării generale.

Condiționările de mai sus, ce fac referire la limitele tasărilor, se aplică pentru structurile normale.

În tabelul 1 sunt prezentate valorile rotirilor relative recomandate de specialiști recunoscuți, precum și specificațiile actuale din norma europeană [1].

Tabelul 1. Limitele restrictive ale rotirii relative

| Condiți a | Tipul de avarie | Limitele restrictive ale rotirii relative | | | | | |
|--------------|--|---|----------|---------------------|---------|-----------------------|-------------------|
| | | Skempton și MacDonald | Meyerhof | Polshin și Tokar | Bjerrum | SR EN 1997- 1:2006 | |
| 1 | Fisuri în pereți și pereții de compartimentare | 1/300...1/500 | 1/500 | 1/500 | 1/500 | 1/300...1/2000 | |
| | | | | | | recomandabil | |
| | | | | | | Covătire 1/500 | Boltire 1/1000 |
| 2 | Avarie la structura de rezistență | 1/150 | 1/250 | 1/200 | 1/150 | Covătire 1/150 | Boltire 1/300 |

Din cele de mai sus reiese faptul că limitările impuse din diferite norme nu sunt identice, dar sunt apropiate. Urmând metodele de calcul, este posibilă producerea de avarii la clădirilor existente în zonele de influență, chiar urmând valorile recomandate.

Având în vedere faptul că nu sunt reglementate în norme valorile maxime ale tasărilor admisibile sau rotirile relative pentru clădirile existente care prezintă diverse grade de afectare a rigidității, se propun în prezentul articol următoarele:

- a) valorile tasărilor totale indicate în actualele norme să fie reduse prin înmulțirea cu indicele subunitar R

$$s_{\text{max}}^{\text{SR EN 1997-1:2006}} \times R = \Delta_r$$

- b) valoarea rotirii relative admisibile să fie limitată în sens superior prin înmulțirea cu indicele R

$$1/500 \times R$$

Metoda propusă poate fi aplicată clădirilor existente care au fost expertizate tehnic, în care expertize se menționează valorile, pe cele două direcții principale, ale gradului de asigurare la acțiuni seismice „ R ”.

Clădirile existente care nu au fost studiate din punct de vedere al rezistenței și stabilității, pot fi analizate prin metodologiile simplificate de nivel 1 și 2, bazată în principal pe inspecțiile vizuale ([2] cap. 5), conform cărora se stabilește clasa de risc a clădirii „ R_1 ” și „ R_2 ”.

În concluzie, autorul propune reducerea valorilor tasărilor maxime, precum și limitarea în mod acoperitor a deformațiilor admisibile pentru clădirile existente proporțional cu încadrarea pe clase de risc seismic a clădirilor, mai precis cu valorile indicatorilor R .

Metoda propusă de reducere a deformațiilor admisibile, autorul o consideră valabilă prin faptul că prin analiza construcției în cadrul expertizei se apreciază clasa de risc a structurii ce nu se bazează neapărat pe evaluarea prin calcul la acțiunea seismică, ci și funcției de alte cauze ale degradărilor existente sau cele probabile ca urmare a tasărilor suplimentare, cum ar fi:

- uzura elementelor;
- stabilitatea elementelor;
- existența rezemărilor de ordinul II și III;
- tipul materialelor ce alcătuiesc elementele de rezistență;
- conceptul de calcul ce a stat la baza proiectării.

Prin valoarea coeficientului R nu se apreciază numai mecanismul capabil și specific de preluare a forțelor seismice, ci trebuie înțeles ca fiind o notă dată structurii în ansamblu. Astfel pare firească corespondența între gradul de afectare al structurii existente și limitele sale din punct de vedere al tasărilor și deformațiilor suplimentare. Utilizarea metodei pentru reducerea unor deformații, ca rezultat al unui mecanism al tasărilor neuniforme, trebuie totuși utilizat cu prudență și responsabilitate, având în vedere aici aspectul privind uniformitatea rigidității în plan vertical a structurilor.

Norma locală aparținând districtului Leningrad - SANKT-PETERSBURG [3] face totuși referire la tasări și deformațiile suplimentare acceptate pentru clădiri cu structura de rezistență afectată sau pentru clădiri deosebite, încadrate în categoria monumentelor arhitecturale și istorice care prezintă decorațiuni exterioare sau interioare valoroase. De remarcat aici faptul că arealul acoperit de normă nu se evidențiază prin mișcări seismice de importanță semnificativă. O altă cerință relevantă, menționată în normă, este aceea prin care se cere ca pentru clădirile care se află în zona de influență a unei clădiri noi să se realizeze expertize tehnice. În al doilea rând clădirile existente, ce urmează a fi afectate de tasările suplimentare, survenite în zona de influență, se împart în trei grade de sensibilitate, în funcție de următoarele criterii:

- adâncimea de încadrare pentru noua clădire;
- tipul și numărul nivelelor de sprijinire a incintei;
- tipul lucrărilor de epuizment;
- tipul fundațiilor clădirii propuse;
- variabilitatea încărcărilor la nivelul fundațiilor clădirii existente.

Funcție de cele trei grade de sensibilitate sunt indicate limitele deformațiilor admise pentru mai multe tipuri de structuri și anume:

- structuri din zidărie simplă sau confinată cu centuri și stâlpișori din beton armat;
- structuri în cadre din beton armat sau metal.

Ca și exemplu:

- tasările maxime absolute funcție de categoriile de mai sus menționate, pot varia între 6...2 cm;
- rotirile relative de asemenea pot varia între 1/250...1/2000.

3. STUDIU DE CAZ

Pentru exemplificarea liniarității metodei propuse, pentru structuri cu rigiditate uniformă, în scopul de a reduce tasările maxime și limitarea în sens acoperitor a valorilor deformațiilor admisibile a fost ales un tip de structura reprezentativ fondului construit existent din București. A fost ales tipul de structură în cadre în vederea analizării gradului de avariere, ca urmare a deformațiilor suplimentare a terenului, provocate de excavațiile adânci. Structura aleasă este caracterizată prin cadre de beton armat, ale căror elemente inițial au fost dimensionate în principal din încărcări gravitaționale.

Uneori stâlpii și grinzile se dimensionau dintr-un calcul seismic, în care valoare forței seismice era cel mult 2-3% din greutatea clădirii. Închiderile și pereții de compartimentare se realizau din zidărie.

Model CEC - Clădire existentă în cadre (stâlpi și grinzi) cu panouri de zidărie de compartimentare și închidere din zidărie. (vezi Figura 3)

Descriere:

- Regim de înălțime : P+3E ($H_{\text{nivel}}=3,00$ m, $H_{\text{total}}=12,00$ m);
- Geometrie în plan : 4 deschideri x 5,00 m și 3 travei x 5,00 m;
- Tip structură: cadre din beton armat;
- Tip fundații: fundare directă – tălpi continue beton armat.

Materiale:

Beton armat C12/15 ($E=13.000.000$ kN/m²) – în stadiu fisurat ($E_{\text{beton}}=0,5 \times E_{\text{beton}}^{\text{initial}}$).

Dimensiuni elemente structurale:

- Stâlpi beton armat 45 x 45 cm armați longitudinal în procent 0,7%;
- Grinzi beton armat 30 x 40 cm armate longitudinal în procent de 0,7%;
- Planșeu din beton armat 15 cm.

Evaluare încărcări:

1. distribuție pe planșee:
 - utilă 2 kN/m²;
 - cvasipermanente 3,5 kN/m².
2. distribuție pe grinzi perimetrice, pereți închidere + tencuieli: 5 kN/m;
3. distribuție pe grinzi interioare, pereți închidere + tencuieli: 5 kN/m.

Forța seismică:

- Factor de comportare $q=4,00$ (clasa M de ductilitate);
- Coeficient seismic $c=0,14$;
- Greutate clădire 14332 kN;
- FTB=2006 kN;

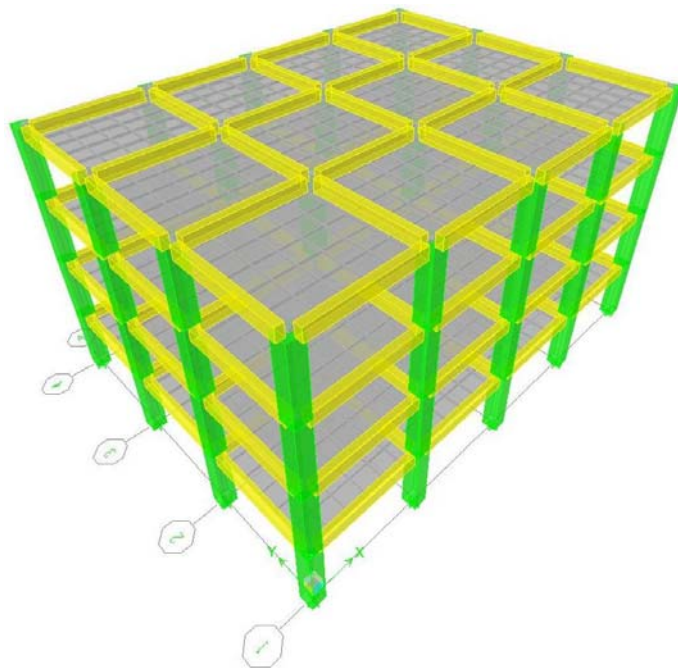


Figura 3. Model de clădire în cadre de beton armat – Model CEC

Modelul de clădire existentă realizat din cadre de beton armat a fost supus unei acțiuni seismice determinată prin calcul. S-a considerat structura ca fiind încastrată la nivelul fundațiilor. Modelul surprins în mare caracteristicile principale din punct de vedere al dimensiunilor elementelor și calității materialelor al tipului de structuri realizate în perioada imediată postbelică.

Structura discretizată a fost supusă unei analize specifice expertizelor tehnice din care a reieșit faptul că valoarea gradului de asigurare la acțiuni seismice este:

$$R=0,54$$

Determinarea gradului de asigurare la acțiuni seismice s-a stabilit prin raportarea momentelor capabile ale stâlpilor în parter per momentele încovoietoare efective. Scopul pentru care a fost aplicată metodologia de determinare a stării clădirii conform P100-3/2008 este acela de a compara nivelele de solicitare datorate:

1. deformațiilor admisibile $1/1000=0,001$;
2. deformațiilor admisibile limitate superior prin înmulțirea cu valoarea indicelui R.

$$R/1000= 0,54/1000=0,00054=(1/1852)$$

1/1852 - valoarea deformației admisibile pentru clădirea existentă CEC

Pentru a realiza un tablou al solicitărilor ce produc plasticități ale secțiunilor de beton s-a apelat la analiza de tip push-over.

3.1 Analiza Push-Over – încărcări orizontale

Analiza de tip Push-Over se realizează prin introducerea unor trepte în creștere de forță seismică pentru a determina mecanismul de plasticizare propriu al structurii. După cum se observă, sunt plastificate majoritatea grinzilor și stâlpilor structurii din parter, mecanismul rezultat este unul satisfăcător datorită faptului că majoritatea grinzilor au format articulații și structura nu a format mecanism de etaj la solicitarea dată (vezi Figura 4).

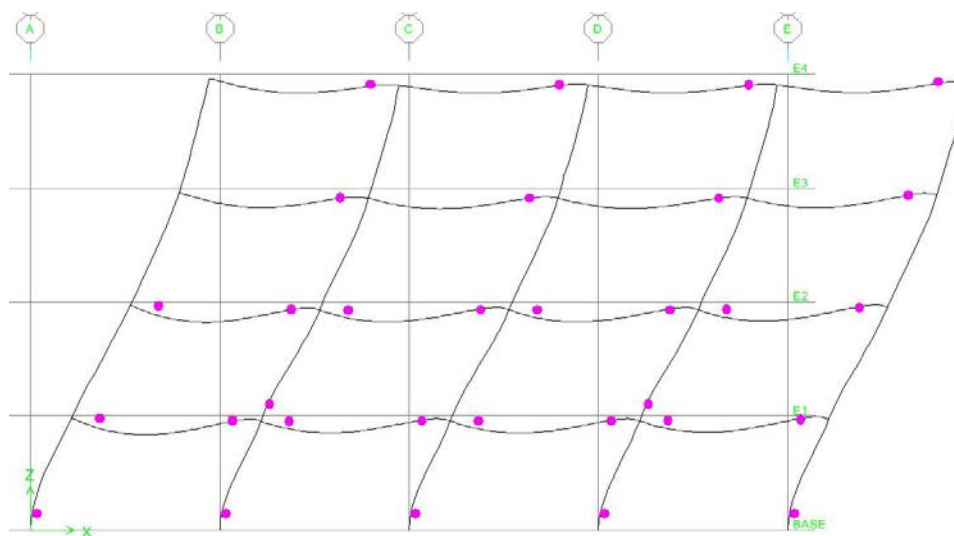


Figura 4. Mecanism de plasticizare pentru acțiuni orizontale de tip seism - analiza Push-Over

3.2 Analiza Push-Over – deformații tip boltire

În analiza Push-Over corespunzătoare tasării impuse de tip boltire (a) au fost introduse forțe sub stâlpii din intersecția axelor 3xB, 3xC și 3xD, impunând deplasarea acestora pe verticală până la valorile corespunzătoare deformației de tip boltire.

Se observă în figura 5 apariția articulațiilor plastice în grinzile de-o parte și de alta a stâlpului din ax 3xC și articulațiile plastice ale grinzilor corespunzătoare traveelor din extremitatea clădirii.

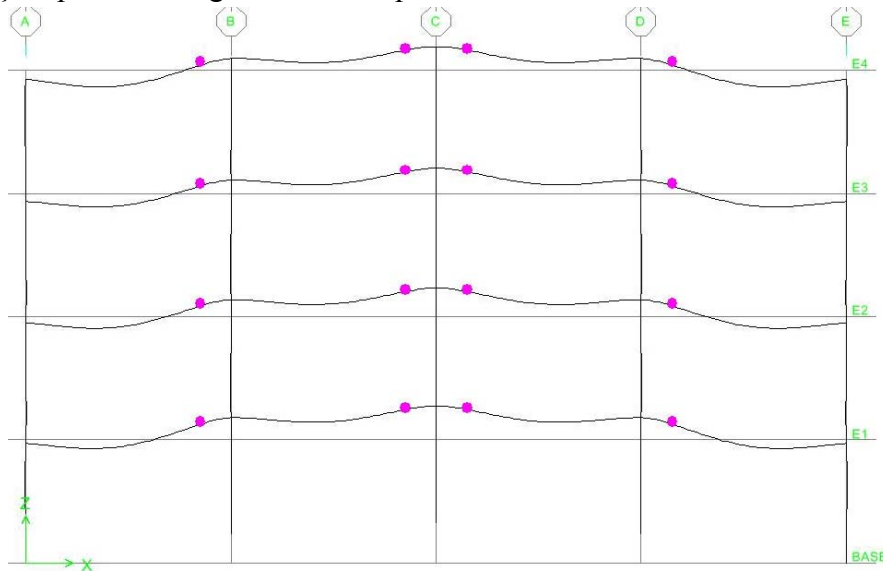


Figura 5. Mecanism de plastificare corespunzător deformației de tip boltire (deformație impusă 1/1000) - analiza Push-Over

Aplicând metoda de reducere a tasărilor prin implicarea valorii gradului de asigurare la acțiuni seismice se obține un tablou al mecanismului de plastificare mult ameliorat față de cel anterior (vezi Figura 6).

Dacă se face următorul calcul empiric :

- număr total de articulații plastice posibile aparținând grinzilor pentru cadrul analizat = 48 articulații plastice;
- 16 articulații plastice rezultate prin tasarea impusă 1/1000 – 2 cm tasare maximă;
- 8 articulații plastice rezultate prin reducerea tasărilor cu $R/1000=1/1852$; $L=20.00m$ cca. 1cm tasare maximă.

În concluzie, se reduc efectele defavorabile în cadrul analizat cu 50% față de o reducere a tasărilor cu 54% .

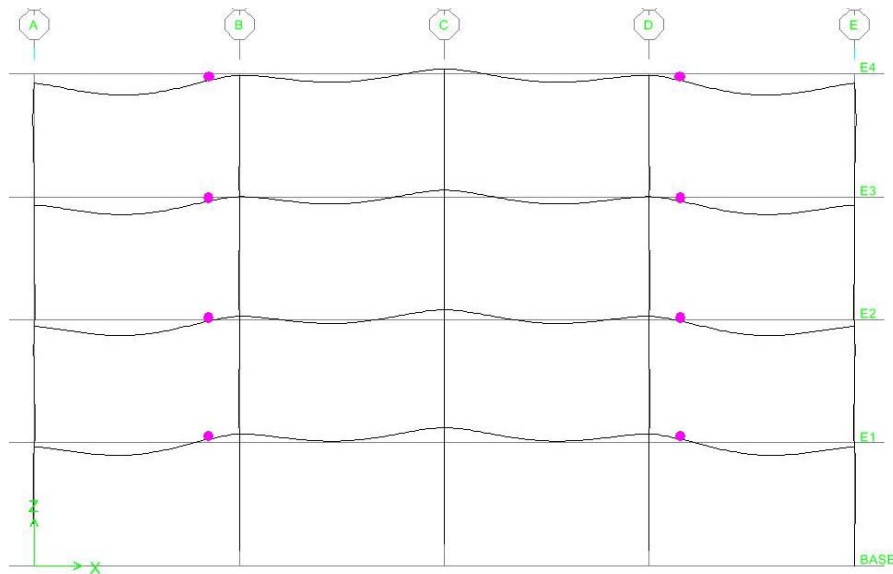


Figura 6. Mecanism de plastificare corespunzător deformației de tip boltire ameliorată cu $R=0.54$ (deformație impusă $1/1852$) - analiza Push-Over

3.3 Analiza Push-Over – deformații tip covățire

Analiza Push-over pentru deformații impuse ale structurii în cadre s-a realizat prin introducerea unor forțe cu acțiune în sens gravitațional în stâlpii mediani ax B, C și D. A fost limitată deplasarea maximă a stâlpilor din ax C la 2 cm (vezi Figura 7).

Deplasarea pe verticală a stâlpilor produce efecte în toată structura, dar incursiunile în domeniul plastic se produc numai la nivelul grinzilor după un alt tip de mecanism față de cel produs de deformația de tip boltire.

Dacă în cazul boltirii, avariile se produc cu preponderență în grinzile apropiate de axa mediană a structurii, în cazul covățirii acestea se resimt mai ales către extremități.

În cazul impunerii unei deformații maxime admise de 1 cm, se păstrează poziția articulațiilor la extremitate, dar reduse ca și număr (vezi Figura 8).

Dacă se face următorul calcul empiric :

- 14 articulații plastice rezultate prin tasarea impusă $1/1000$ – 2 cm tasare maximă;
- 6 articulații plastice rezultate prin reducerea tasărilor cu $R/1000=1/1852$; $L=20.00m$ cca. 1cm tasare maximă.

În concluzie, se reduc efectele defavorabile în cadrul analizat cu 42% față de o reducere a tasărilor cu 54% .

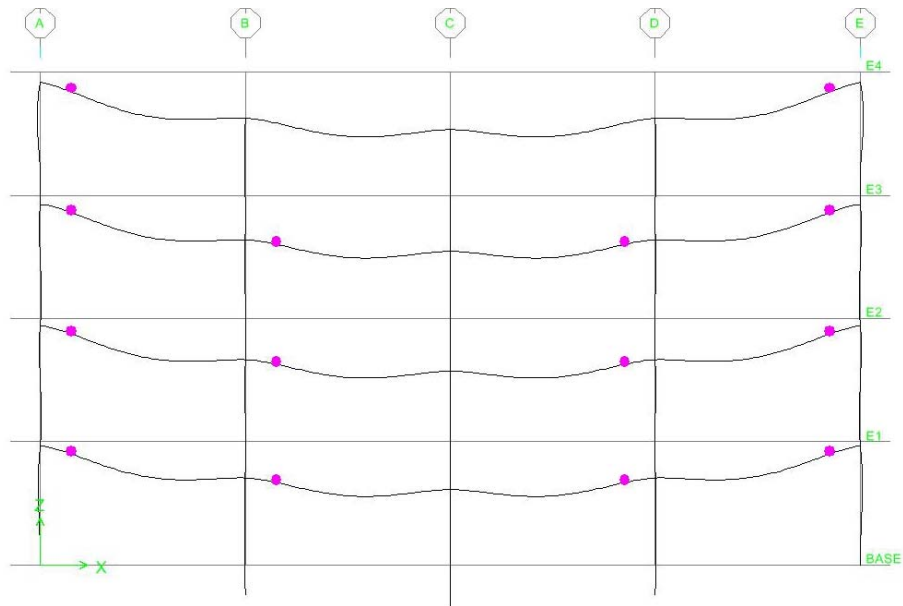


Figura 7. Mecanism de plastificare corespunzător deformației de tip covătire (deformație impusă 1/1000) - analiza Push-Over

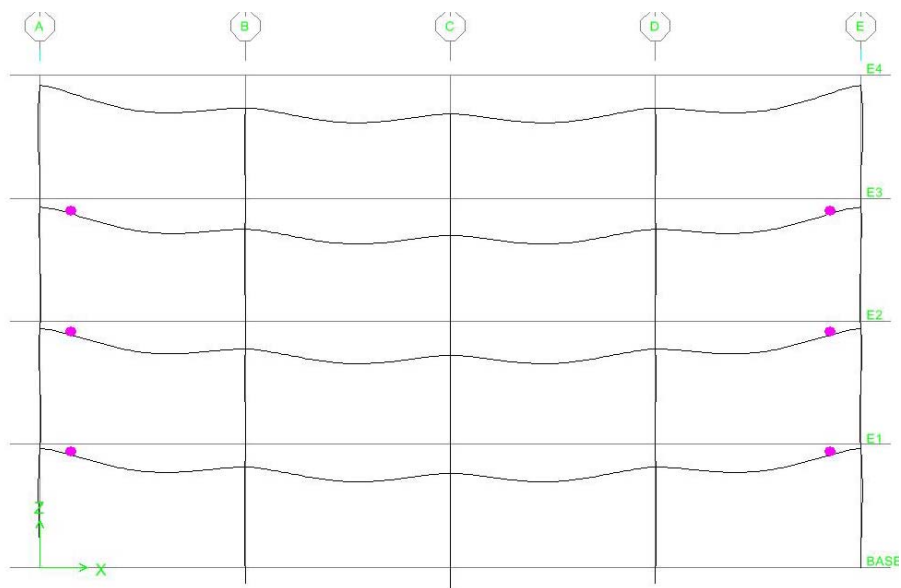


Figura 8. Mecanism de plastificare corespunzător deformației de tip covătire ameliorată cu $R=0,54$ (deformație impusă 1/1852) - analiza Push-Over

4. CONCLUZII

Din cele prezentate, prin analizele Push-over pe structura în cadre CEC se pot concluziona următoarele:

- Acțiunea seismică rămâne evenimentul care conduce către limitele de plasticitate la majoritatea elementelor;
- Tasarea de tip boltire provoacă cele mai multe avarii unei structuri în cadre față de deformația de tip covătire;

- Reducerea tasărilor prin ameliorarea cu gradul de asigurare la acțiuni seismice conduce la o reducere proporțională cu R a avariilor într-o structură în cadre prin scăderi substanțiale ale eforturilor de tip M și T.

Impunerea unei tasări 1/1000 structurii CEC a condus la o degradare locală a unor elemente structurale, deci cu incursiuni în domeniul plastic.

Introducerea modalității de limitare a tasărilor induse de noile construcții în structuri existente, pe baza coeficientului R, va putea fi testată în viitor pe diverse tipuri de construcții, constituind un domeniu de cercetare în perspectivă, finalizat prin includerea rezultatelor în documente normative necesare proiectării curente.

BIBLIOGRAFIE

1. SR EN 1997 - 1 (mai 2006), *Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale*;
2. P100-3/2008, *Cod de proiectare seismică, prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente*;
3. Norme Sankt Petersburg, *Foundation design for buildings and structures in the city of Saint Petersburg*, TCH 50-**-03 Saint-Petersburg;
4. ACI Committe 201, *Guide to durable concrete*, Journal of the American Concrete Institute nr. 12/1977;
5. Agent R., *Expertizarea și punerea în siguranță a clădirilor existente afectate de cutremure.*, Ed. Fast Print, București, 1997;
6. Bjerrum, *Settlement characteristics of structure on sand*, 1963;
7. Blume J.A., Newmark N.M., Corning J .A., *Design of multistory reinforced concrete buildings for earthquake motions*, PCA, 1961;
8. Boone Sg, *Assesing construction and settlement – induced building damage* , Institution of Mining and Metalurgy, London, 2001;
9. Brinch-Hansen, J., *Simplified stress determination in soils*, The Danish Geotechnical Institute, Bulletin Nr. 20/1966;
10. Day W. Robert, *Geotechnical and Foundation Engineering*, 1999;
11. Frank R., *Calcul des fondations superficielles et profondes*, Techniques de l'Ingénieur, Paris, 1999;
12. Frank R., Bauduin C., Driscoll R., Kavvaclas M., *Designer's Guide to EN 1997-1 Eurocode 7*, 2004;

13. Marcu A., Popa H., Marcu D., Coman M., Vasilescu A., Manole D., *Impactul realizării construcțiilor în excavații adânci asupra clădirilor existente în vecinătate*, Revista construcțiilor nr. 33/2007;
14. Marcu A., Marcu D., Coman M., Saidel T., *Influența excavațiilor adânci asupra construcțiilor învecinate*, Lucrările celei de-a XI Conferințe Naționale de Geotehnică și Fundații, Timișoara, 2007;
15. P100-1/2006, *Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri*;
16. Skempton W., Mc Donald, *Allowable settlement*, 1956.