

# DETERMINAREA REZERVEI DE REZISTENȚĂ A UNEI STRUCTURI ÎN CADRE DE BETON ARMAT FOLOSIND ANALIZA PUSH-OVER

Conf. dr. ing. Florin Țepeș ONEA, Ing. Daniel TUDORACHE

Universitatea „Ovidius”, Constanța, Facultatea de Construcții, România

**REZUMAT.** Obiectivele prezentei lucrări sunt analiza liniară și neliniară a răspunsului seismic al unei structuri propuse din cadre de beton armat solicitate la o acțiune static echivalentă și compararea rezultatelor obținute prin cele două metode. A fost urmărită ordinea apariției articulațiilor plastice în structură la fiecare pas calculat și identificată curba forță laterală – deplasare la vârf rezultată din program. S-a realizat verificarea deplasărilor laterale la cele două stări limită, stare limită de serviciu (SLS) și stare limită ultimă (SLU).

**Cuvinte cheie:** articulații plastic, analiză neliniară, deplasări laterale.

**ABSTRACT.** The objectives of this paperwork are the linear and nonlinear analysis of the seismic response of a considered reinforced concrete frame structure and the analogy of the results achieved by both methods. We have observed the successional materialization of plastic hinges at every calculation point and we have identified the lateral force-top displacement curve, as resulted from the software. The analysis of the lateral displacements at Ultimate Limit State (ULS) and Serviceability Limit States (SLS) has been.

**Keywords:** plastic hinges, nonlinear analysis, lateral displacement.

## 1 INTRODUCERE

În general, pentru calculul structural, la proiectarea unei construcții de beton armat sunt disponibile următoarele metode:

– metode elastice: metoda forțelor seismice echivalente; metoda de calcul modal cu spectre de răspuns; metoda de calcul dinamic liniar prin integrarea directă a ecuațiilor diferențiale modale decuplate.

– metode inelastice: metoda de calcul static neliniar incremental (pushover); metoda de calcul dinamic neliniar cu integrarea directă a ecuațiilor diferențiale de mișcare cuplate.

Avantajul metodele de calcul în domeniul neliniar se referă la : evaluarea seismică a structurilor pe baza parametrului celui mai important pentru caracterizarea

performanțelor seismice ale unei construcții, deplasarea laterală evidențiind comportarea efectivă a structurii.

Modelarea grinzilor cu articulații plastice punctuale reprezintă calea cea mai eficientă pentru a reprezenta comportarea acestor elemente în domeniul post-elastic. Grinzile sunt elemente solicitate, în prezența planșeelor, la încovoiere unidirecțională, fără forțe axiale, rezultă astfel articulații plastice de moment (fig.2).

În cazul stâlpilor modelarea nu mai este atât de simplă ca în cazul grinzilor. În acest caz capacitatea de rezistență depinde de forța axială, care variază pe durata unui seism, astfel modelarea se bazează în majoritate pe teoria plasticității. În acest caz se folosesc funcții de curgere  $f(N,M)=0$

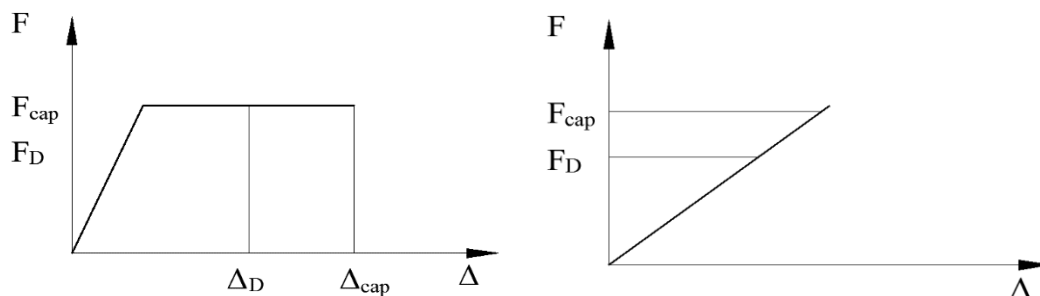


Fig. 1:

a) verificare pe baza de forțe ( $F_D \leq F_{cap}$ ); b) verificare pe bază de deplasare  $\Delta_D \leq \Delta_{cap}$ .

# DETERMINAREA REZERVEI DE REZISTENȚĂ A UNEI STRUCTURI ÎN CADRE DE BETON ARMAT

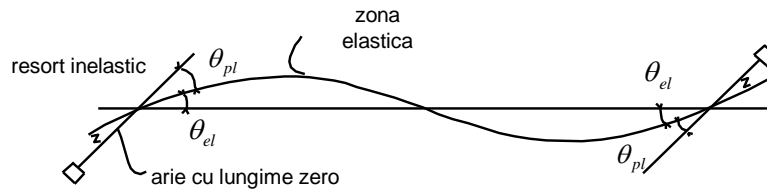


Fig. 2. Model de grinda cu elemente in serie.

## 2 PREZENTAREA STUDIULUI. ANALIZA PUSH OVER

Analiza push over este o metodă de verificare a capacităților postelastice structurale prin impunerea progresivă a unor deplasări asupra structurii până la formarea unui mecanism de plastificare, urmărindu-se forțele orizontale înregistrate.

Dacă deplasările structurii cresc se dezvoltă articulații plastice până la formarea unui mecanism de plastificare (local sau global), în mod progresiv astfel, se obține un grafic denumit și curbă de capacitate a structurii sau curbă pushover.

Curba push over nu este asociată nici unui cutremur, fiind o caracteristică proprie a structurii analizate, ea evi-

dențiază diferite momente caracteristice din comportarea postelastice a structurii (formarea unor articulații plastice, ieșirea din lucru a unor elemente, ș.a.),

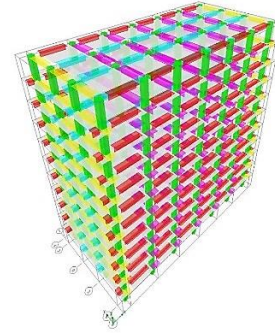


Fig. 4. Vedere 3D a structurii proiectate.

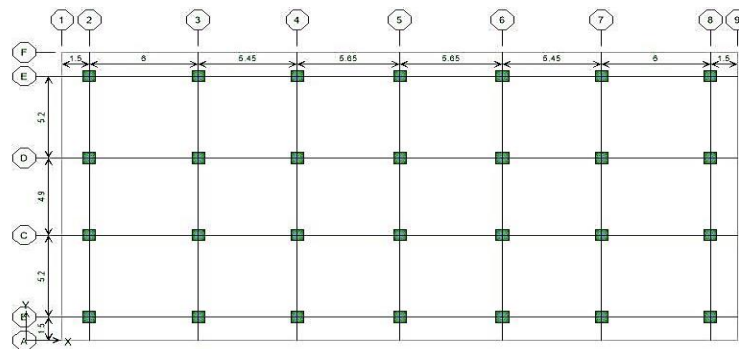


Fig.5 Vedere în plan a structurii proiectate.

Analiza postelastica implică întâi o analiză liniară, ulterior realizându-se analiza push over. Structura analizată (fig. 4, fig. 5) are regimul de înălțime P+10 și este amplasată în orașul Constanța. Stâlpi cu dimensiunea 70x70cm, iar grinzile 30x60 cm.

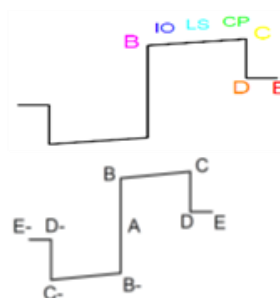
În cazul analizei neliniare structura este acționată (încărcată) vertical, corespunzător grupării speciale

de încărcări și încărcată orizontal progresiv pe direcție longitudinală și transversală. Rezistențele medii pentru beton sînt :  $- 1,5 f_{cd}$  ;și pentru oțel –  $1,35 f_{yd}$ .

Curbele forță laterală deplasare la vîrf sunt prezentate mai jos în figurile 6,7, iar în tabelul 1 legea constitutivă folosită în analiza neliniară.

Tabelul 1. Legea constitutivă moment rotație in analiza neliniară

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-7
D-	-0.2	-5
C-	-1.25	-5
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.25	5
D	0.2	5
E	0.2	7



## CERCETARE ȘI EXPERTIZĂ INGINEREASCĂ LA CONSTANȚA

- B – punctul inițierii curgerii
- IO – nivel de performanță FEMA, immediate occupancy – fără evacuarea clădirii
- LS – nivel de performanță FEMA, life safety – asigurarea vieții ocupanților
- CP – nivel de performanță FEMA, collapse prevention – prevenirea colapsului
- C – punctul ultim al secțiunii (moment maxim)
- D – punctul din care secțiunea a suferit degradări majore ireversibile și păstrează doar o rezistență reziduală
- E – punctul în care secțiunea iese definitiv din lucru
- \* nivel perormanță FEMA: considerat de program sau definit de utilizator.

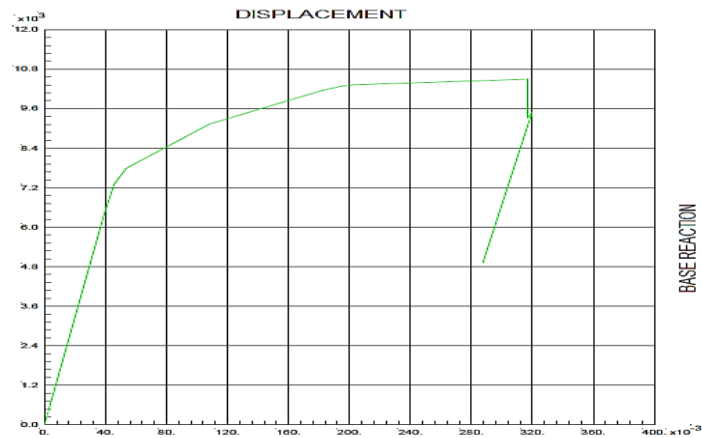


Fig. 6. Curba forță laterală - deplasare la vârf, cazul încărcărilor orizontale progresive pe direcția X.

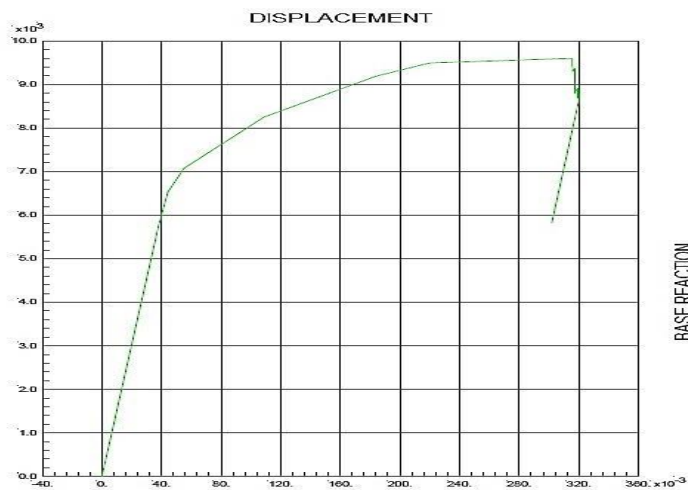


Fig. 7. Curba forță laterală - deplasare la vârf, cazul încărcărilor orizontale progresive pe direcția Y.

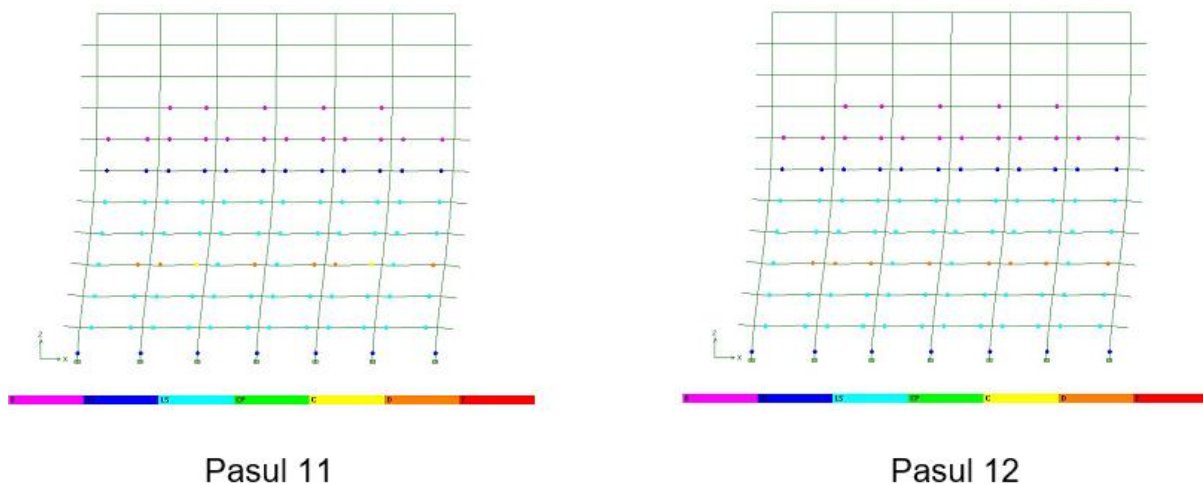


Fig. 8. Apariția articulațiilor plastice punctuale, cazul încărcărilor orizontale progresive pe direcția X.

## DETERMINAREA REZERVEI DE REZISTENȚĂ A UNEI STRUCTURI ÎN CADRE DE BETON ARMAT

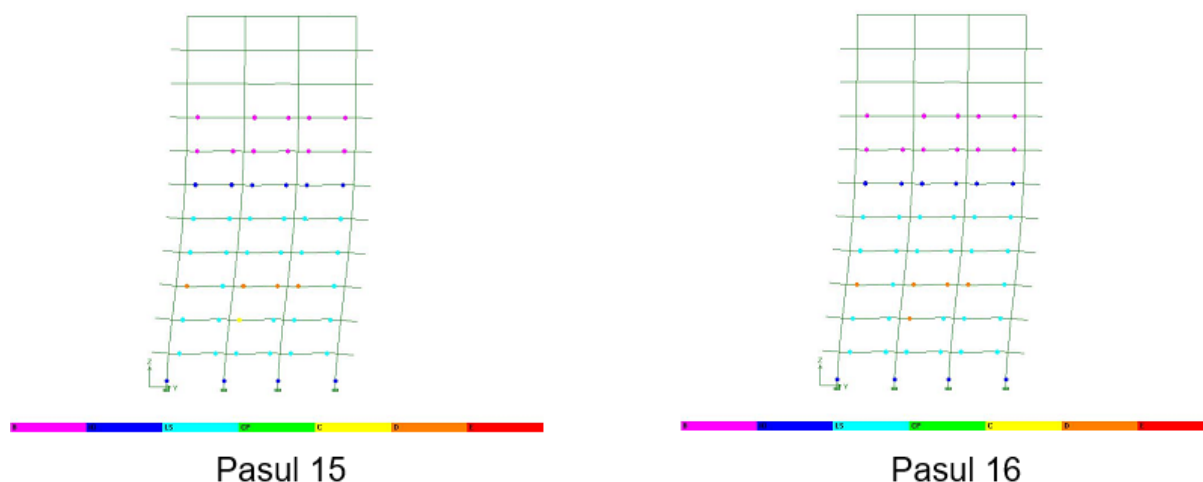


Fig. 9. Apariția articulațiilor plastice punctuale, cazul încărcărilor orizontale progresive pe direcția Y.

### CAP. 3 CONCLUZII

Analizând rezultatele obținute se observă o comportare favorabilă de ansamblu prin formarea articulațiilor plastice la capetele grinzilor și prin plastifierea stâlpilor la nivelul de încastrare în fundații (fig. 8, fig. 9).

În cazul încărcărilor progresive pe direcția X, din punct de vedere al formării articulațiilor plastice în grinzi ele apar inițial la primul etaj, apoi parter și etaj 2. Cele mai afectate grinzi care au o evoluție spre colaps sînt cele de etaj 1 și 2.

În stâlpi, articulațiile plastice apar inițial în pasul 5 la nivelul de încastrare cu fundația.

La ultimul pas de calcul plastifierea grinzilor a ajuns până la etajul 7, iar la etajul doi grinzile sînt elemente care ies din lucru.

În cazul încărcărilor progresive pe direcția Y comportarea este similară, plastificarea grinzilor ajunge pînă la etajul 6, degradarea grinzilor sînt cele de la etaj 2 iar articulațiile plastice la baza stîlpilor apare la pasul 6.

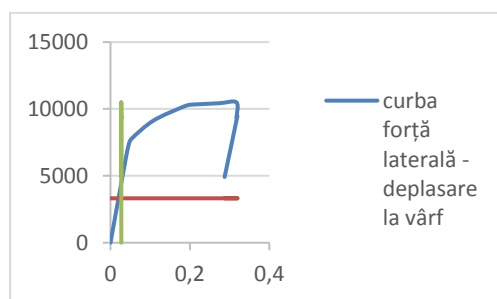


Fig. 10. Curba push over pentru seism pe direcția X (longitudinală).

Dacă se suprapune peste curba push over obținută valorile maxime pentru forța de bază și deplasare, din calculul elastic, se observă rezerva de rezistență (fig. 10):  $F_{b\_cap} = 10491$  kN  $F_b = 3320,8$  kN

Astfel pe aceasta direcție se poate considera o rezervă de rezistență a structurii de 68.35% prin apariția articulațiilor plastice.

Din punct de vedere al deplasărilor în liniar s-a obținut 2,70 cm iar în neliniar 31,5 cm, în cazul direcției Y (transversal):  $F_b = 3320$  kN  $F_{b\_cap} = 9597$  kN.

Din punct de vedere al deplasărilor în liniar 3.35 cm iar în neliniar 31.5 cm

Analiza asupra structurii în cauză a evidențiat o comportare favorabilă de ansamblu. Aceasta se datorează mecanismului de plastifiere favorabil, caracterizat de formarea articulațiilor plastice la capetele grinzilor urmate de plastifierea stâlpilor la nivelul de încastrare al acestora în fundații.

În cele ce urmează se va detalia apariția articulațiilor plastice pe cele două direcții.

**Cazul încărcărilor progresive pe direcția X.** Se observă că primele articulații plastice apar la capetele grinzilor de la nivelul primului etaj. După care acestea își fac apariția și la nivelul parterului și etajul 2. Se poate observa cu avansarea pașilor că grinzile cele mai afectate, cu evoluția cea mai rapidă spre colaps sunt grinzile de la etajul 1 și 2.

Primele articulații plastice în stâlpi apar la pasul 5 al iterației, la nivelul de încastrare cu fundația după ce plastifierea grinzilor a ajuns până la etajul 7.

Degradarea apare la grinzile de la etajul 2, ele fiind primele elemente care ies din lucru.

**Cazul încărcărilor progresive pe direcția Y.** În acest caz primele articulații plastice apar la capetele grinzilor de la etajul 1. Următoarele grinzi afectate sunt cele de la parter și etajul 2. Când plastifierea la capetele grinzilor a ajuns la etajul 5, apare evoluția articulațiilor de la etajele 1 și 2, acestea fiind cele mai solicitate.

Primele articulații plastice în stâlpi apar la pasul 6 al iterației, la nivelul încastrării acestora cu fundația după ce plastifierea grinzilor a ajuns până la etajul 6.

## CERCETARE ȘI EXPERTIZĂ INGINEREASCĂ LA CONSTANȚA

Degradarea apare asemănător cazului direcției X, la grinzile de la etajul 2, ele fiind cele mai afectate în urma acestei analize, ele ieșind din lucru.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] T. Postelnicu, I. Damian, D. Zamfirescu, E. Morariu – *Proiectarea structurilor de beton armat în zone seismice, Volumul I : Particularități ale proiectării seismice*, 2012.
- [2] T. Postelnicu, I. Damian, D. Zamfirescu, E. Morariu – *Proiectarea structurilor de beton armat în zone seismice, Volumul II : Proiectarea structurilor de beton armat în zone seismice*, 2012.
- [3] M. Ieremia – *Analiza numerică neliniară a structurilor – Volumul I : Fundamente de calcul*, 2004.
- [4] P100-1/2013 – Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri.
- [5] CR0-2012 – Bazele proiectării construcțiilor. Editura Matrix Rom București 2012.
- [6] Etabs, Computers and Structures, [www.csiberkeley.com](http://www.csiberkeley.com)

### Despre autori

Conf.dr.ing. **Florin ȚEPEȘ-ONEA**

Universitatea „Ovidius“, Constanta, Facultatea de Construcții, România

Absolvent al Facultății de Hidrotehnică din București. De la absolvire în 1991 și pînă prezent cadru didactic al Facultății de Construcții din cadrul Universității Ovidius din Constanța. Domeniul de interes calcul structural pentru structuri din beton armat și structuri metalice. Membru supleant al Comisiei CTS5 Structuri pentru construcții din cadrul MDRAP.

Ing. Daniel **TUDORACHE**

Universitatea „Ovidius“, Constanta, Facultatea de Construcții, România

Absolvent al Facultății de Construcții din cadrul Universității Ovidius Constanța. În prezent inginer proiectant.