

## SIMULAREA NUMERICA A COMPORTĂRII GRINZILOR DIN BETON ARMAT

Petru Mihai\*, Nicolae Florea, Ioan Tuns

**Rezumat:** *Încercările de implementare a algoritmilor analitici pentru studierea modului de comportare a elementelor din beton armat au fost mult timp lipsite de succes deoarece rezultatele finale teoretice cu coincideau cu cele experimentale.*

*Lucrarea prezintă o modalitate nouă de utilizare a metodelor analitice de calcul pentru obținerea unei comportări cât mai apropiate de realitate a elementelor din beton armat. Rezultatele analitice au fost verificate și confirmate prin experimentări practice.*

**Abstract:** *Simulation of reinforced concrete elements have a quite rather rare on the literature because the analytical results are not the same with experimental results.*

*This paper present a new method for simulating of reinforced concrete elements. Analytical results are verified with experimental results for certified the algorithm.*

### 1. INTRODUCERE

Simularea elementelor structurale din beton armat prin procedee analitice se poate realiza cu ajutorul unei metode de calcul, de departe cea mai răspândită fiind metodei elementului finit.

Particularitățile de comportare ale structurilor din beton armat fac imposibilă utilizarea ca atare a programelor existente deja pe piață. Scrierea integrală a unei aplicații specializate profesionale nu reprezintă nice ea o soluție eficientă, deoarece sunt necesari un număr mare de specialiști care să posede, atât cunoștințe de programare cât și cunoștințe solide privind comportarea elementelor din beton armat. Rezultă ca soluție economică, folosirea unui program deja existent care să fie adaptat scopului propus, numit program de bază.

În acest scop, autorii introduc conceptul de *semi-programare*, ca fiind procesul de generare a unor comenzi, într-o ordine bine stabilită, folosind, nu procedeele specifice limbajelor consacrate de programare (C, Pascal, etc.), ci operații specifice metodei elementului finit. Prin implementarea acestui procedeu, va fi rezolvată problema simulării elementelor din beton armat.

Se va folosi un program propriu denumit în continuare aplicație satelit, capabil să genereze modele de element finit și să interpreteze rezultatele programului de bază. Această aplicație satelit funcționează astfel (fig. 1): într-o primă fază se citește caracteristicile elementului studiat (dimensiuni geometrice, arii de armătură, rezistențele materialelor etc.) și se generează fișierului de comenzi prin semi-programare. Apoi, se lansează programul Cosmos și se efectuează calculul. În timpul efectuării calculului, aplicația satelit așteaptă în background, și testează dacă s-a terminat calculul. La terminarea analizei, aplicația satelit citește rezultatele și, în funcție de acestea, generează un nou model. Algoritmul se repetă până la atingerea capacității de rezistență sau, până la atingerea unei încărcări maxime impuse de utilizator.

Deoarece durata calculului este foarte mare, s-a căutat ca, aplicația satelit să ocupe cât mai puțină memorie, excluzându-se din program meniuri complicate sau alte părți grafice care ocupă inutil resursele sistemului.

\* Universitatea Tehnică GHEORGHE ASACHI Iași, Facultatea de Construcții

Totodată, pentru reducerea dimensiunilor problemei, s-a adoptat un calcul în domeniul plan, folosindu-se elemente finite plane (PLANE2D), pentru modelarea betonului și, elemente finite de tip bară (BEAM2D), pentru modelarea armăturii.

Pentru modelarea fisurilor, pot fi adoptate două procedee. Prima variantă constă în folosirea unor elemente finite speciale, la care fisura reprezintă o caracteristică intrinsecă a elementului finit. Această variantă este recomandabilă în cazul modelării fenomenului de microfisurare în beton dar armătura nu poate fi prinsă în cadrul acestui model.

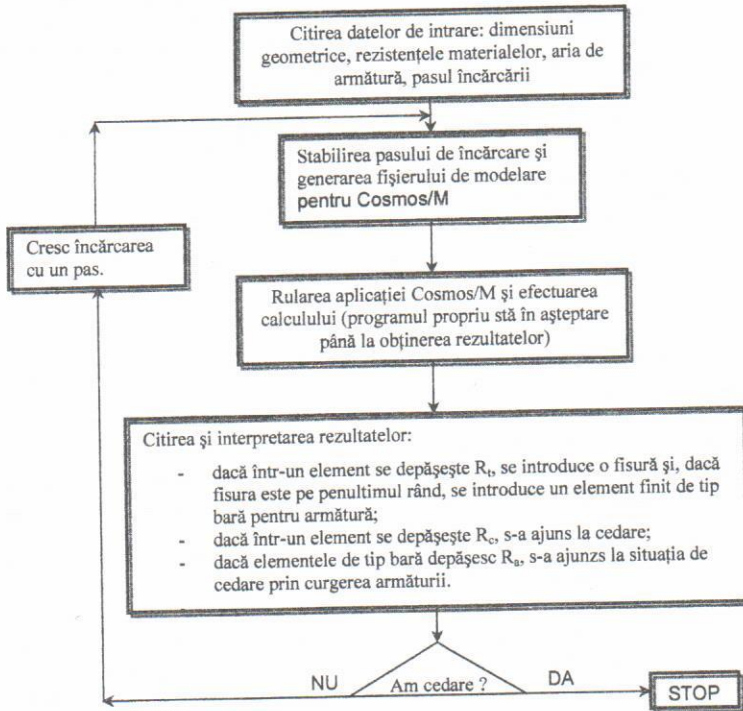


Fig. 1 – Schema logică a algoritmului propus

A doua posibilitate de introducere a fisurilor constă în întreruperea continuității în nod (fig. 2.a.) iar, dacă fisura apare pe penultimul rând, se introduce între cele

două noduri și un element finit de tip armătură (fig. 2.b.). Deoarece, în acest caz, este posibilă și modelarea armăturii, această ultimă variantă va fi implementată în continuare.

Dezavantajul metodei constă din faptul că, deși la apariția fisurii, aceasta are o deschidere foarte mică, elementul finit de armătură nu poate fi oricât de mic, datorită erorilor de rotunjire. S-a adoptat un element finit de 0,005 cm, care va reprezenta deschiderea inițială a fisurii.

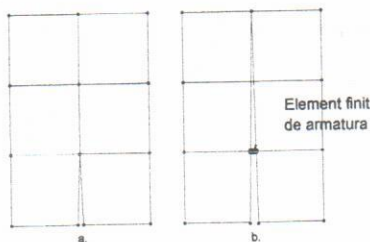
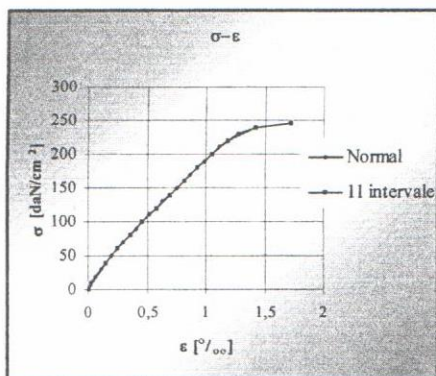


Fig. 2 – a. Modul de introducere a fisurilor și b. a elementelor de armătură

Fig.3 – Simplificarea curbei  $\sigma$ - $\epsilon$  un cilindru din beton

Modelarea comportării neliniare a betonului a fost evidențiată astfel:

- se împarte curba caracteristică în unsprezece intervale, având unsprezece valori ale modului de elasticitate, corespunzătoare fiecărui interval;
- pentru fiecare element finit de beton, se citește valoarea tensiunii aferente la un moment dat și se încadrează într-un anumit interval, de pe curba caracteristică;
- se atribuie elementului finit de beton valoarea modului de elasticitate corespunzătoare intervalului de încădrare.

Pentru a vedea dacă această modelare a curbei caracteristice prin segmente de dreaptă este suficient de precisă, s-a determinat modulul de elasticitate pe un cilindru de beton cu aria secțiunii  $A=200 \text{ cm}^2$  și înălțimea  $H=320 \text{ mm}$ . Pasul de încărcare aplicat a fost de  $200 \text{ daN}$ , ceea ce corespunde unei tensiuni de  $10 \text{ daN/cm}^2$ .

Curba caracteristică este prezentată în fig. 3 (curba albastră). Pe același grafic s-a trasat și curba caracteristică simplificată, formată din cele unsprezece segmente de dreaptă, corespunzător celor 11 intervale propuse (fig. 3 – curba roșie). După cum se poate observa, cele două curbe sunt practic identice de unde rezultă că, cele 11 intervale oferă o precizie suficient de mare pentru modelarea curbei caracteristice.

Conlucrarea reală dintre beton și armătură este introdusă ținându-se cont că, în dreptul fisurii aceasta este nulă, creștând pe măsură ce ne depărtăm de fisură. Determinarea distanței pe care se manifestă micșorarea conlucrării între beton și armătură se poate afla din condiția de echilibru:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \sigma_a = \pi \cdot d \cdot l_a \cdot \tau_a^{\text{final}}, \quad (1)$$

unde:

$\sigma_a$  – tensiunea în armătură;

$d$  – diametrul armăturii;

$l_a$  – lungimea de aderență, (a nu se confunda cu lungimea de ancorare [116]);

$\tau_a^{\text{final}}$  - tensiunea maximă de aderență, calculată cu relația (4.2.).

Din relația (4.3.) rezultă lungimea de aderență:

$$l_a = \frac{d \cdot \sigma_a}{4 \cdot \tau_a^{\text{final}}} \quad (2)$$

pe această lungime fiind afectată conlucrarea betonului cu armătura.

Deoarece stabilirea unor pași de încărcare constanți ar conduce la durate de calcul foarte mari, s-a adoptat un algoritm de stabilire a pașilor de încărcare neliniar.

## 2. TESTAREA ALGORITMULUI PROPUȘ

Simulestarea algoritmului s-a făcut pe grinzi experimentale, prezentate în fig. 4-7.

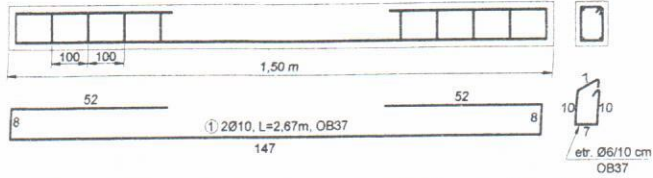


Fig. 4 – Detalii de cofraj și armare grindă experimentală

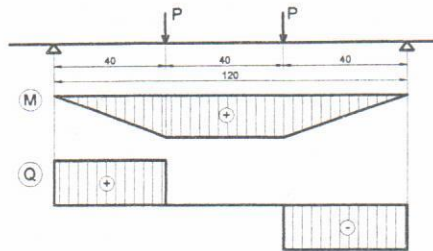


Fig. 5 – Modul de aplicare a încărcărilor

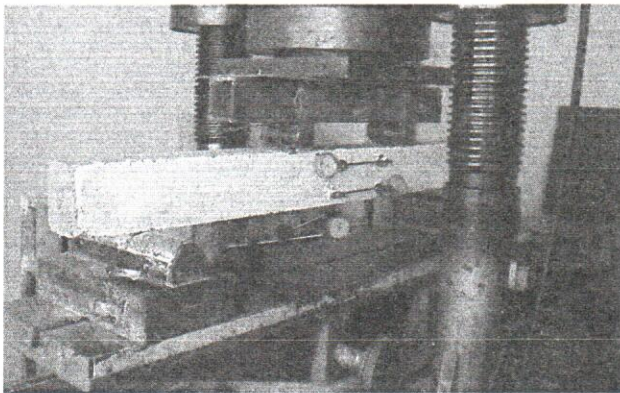


Fig. 6 – Standul de încercare a grinzilor experimentale



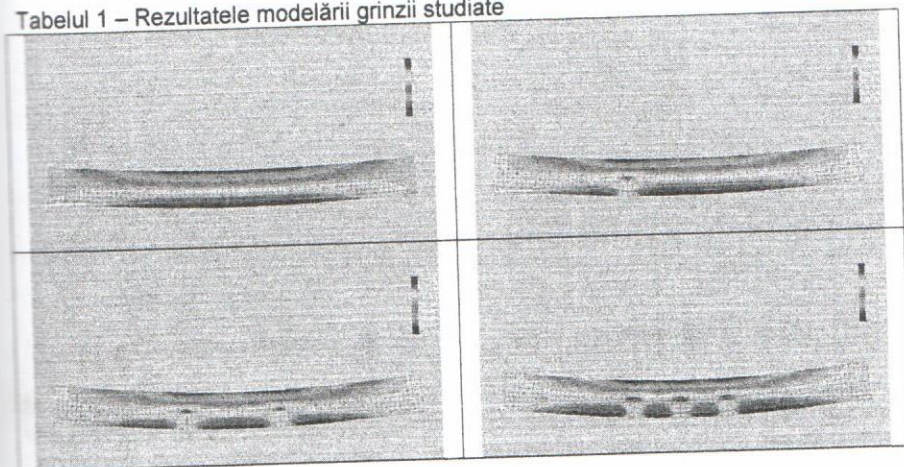
Fig. 7 – Rezultatele obținute prin încercări

Rezultatele modelării grinzii analizate sunt prezentate în tabelul 1. Se face observația că nu se pot prezenta rezultatele detaliate deoarece spațiul este insuficient, mai multe detalii putând fi găsite în [1].

Se poate observa că, există o bună concordanță între rezultatele obținute pe grinzile experimentale și cele deduse prin simulare. În ceea ce privește comportarea betonului din zona întinsă se observă că, dacă la început, fisurile pornesc chiar de la fața inferioară a betonului, ulterior, odată cu creșterea eforturilor, datorită conlucrării între beton și armătură fisurile pornesc din dreptul armăturii pentru că, în acel punct, tensiunea este maximă, la limită egală cu rezistența betonului la întindere (fig. 8.a). La pasul următor (fig. 8.b), fisura apare în beton, la partea superioară a armăturii (în dreptul solicitării maxime) și se dezvoltă în sus. Această observație este în deplină concordanță cu încercările experimentale, așa cum se poate observa din fig. 8.c.

O altă concluzie interesantă, rezultă în urma analizării efortului din armătură, pentru diverse etape de încărcare (tabelul 4.12). Sunt prezentați pașii de încărcare corespunzători apariției primelor fisuri și un pas apropiat stadiului de cedare. În zonele în care apar fisuri, tensiunea în armătură înregistrează o creștere locală, rezultat aflat în deplină concordanță cu comportarea reală a grinzilor din beton armat (tabelul 2).

Tabelul 1 – Rezultatele modelării grinzii studiate



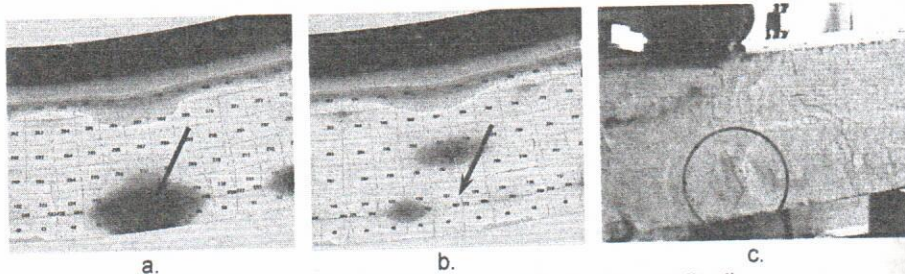
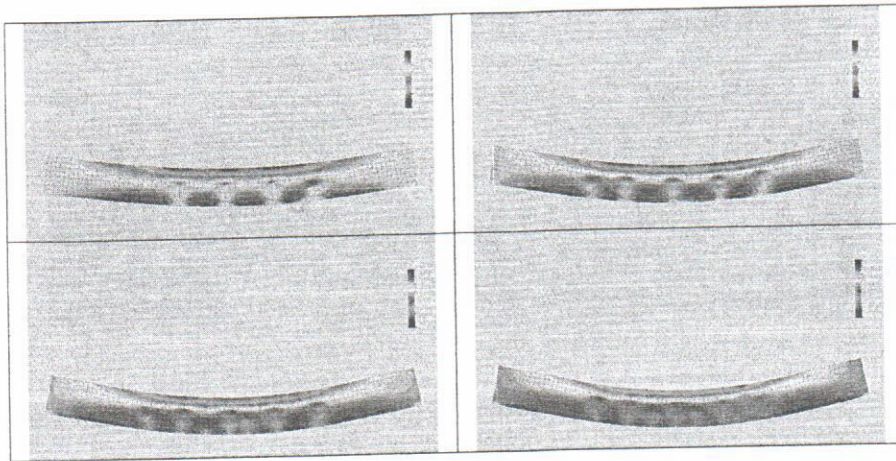
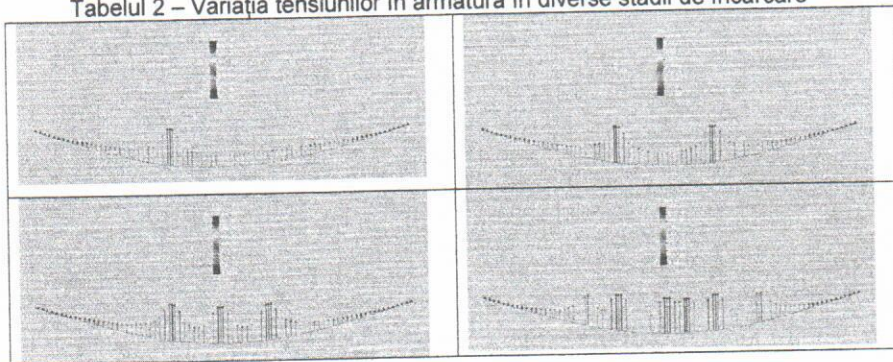


Fig. 8. – Apariția fisurilor în beton din dreptul armăturii  
(săgeata indică locul unde apare fisura)

Tabelul 2 – Variația tensiunilor în armătură în diverse stadii de încărcare



Din cele prezentate, rezultă o bună corespondență între datele furnizate de încercările experimentale și cele furnizate de metoda analitică propusă, rezultând clar faptul că, algoritmul propus este unul corect.

1. Petru MIHAI – Contribuția la proiectarea și execuția elementelor din beton armat
2. R. Agent, D. Dumitrescu – Analiza și proiectarea elementelor structurale

**BIBLIOGRAFIE**

1. Petru MIHAI – Contribuții la studiul caracteristicilor mecanice reziduale ale elementelor din beton armat. *Teză de doctorat. Iași, febr. 2003.*
2. R. Agent, D. Dumitrescu, T. Postelnicu – Îndrumător pentru calculul și alcătuirea elementelor structurale de beton armat. *Ed. Tehnică, București 1992.*