

METODE ENERGETICE APLICATE ÎN ANALIZA DATELOR OBȚINUTE EXPERIMENTAL (CONCEPTUL PUNCTULUI DE BALANS)

Adrian-Constantin DIACONU

Cs II, dr. ing., INCD URBAN-INCERC Sucursala Iași, e-mail: acdiaconu@yahoo.com

Abstract. In the last period, methods and procedures based on energy concepts were often used in experimental and theoretical research programs, trying this way to improve the design practice, pointing out the evolving character of the seismic phenomena. The paper deals with features regarding: stiffness degradation and dissipated energy relations analysis; structures domain of behavior limits based on the evolution of the energy balance equation components, during the experimental tests; calculate domain definition based on the balance point. The results are based on experimental data obtained on R/C frame models, simple or infilled with masonry (simple masonry, reinforced masonry and masonry retrofitted with reinforced jackets), build on full scale and tested on monotonic increasing and cyclic - alternate forces. All tests were performed at URBAN INCERC - Branch of lassy seismic station.

Key words: Experimental tests, energy methods, masonry in field frames, monotonic test, balance point.

1. Introducere

În ultimii ani, studiul elementelor bilanțului energetic pentru diverse tipuri de acțiuni (statice, pseudo-dinamice, dinamice și seismice) și pentru diverse tipuri de elemente, subansamble sau structuri a devenit o modalitate de analiză des utilizată în rezolvarea problemelor ridicate în programele de cercetare din domeniul ingineriei seismice. De asemenea, bazat pe concepte și metode energetice, au început să fie dezvoltate metode și metodologii de proiectare care încearcă să îmbunătățească proiectarea actuală. Ipotezele fundamentale care stau la baza acestor noi metode de proiectare sunt: (a) energia de intrare într-o structură (energia indusă de un cutremur) este o cantitate stabilă care poate evalua corespunzător efectul mișcării terenului; (b) capacitatea de absorbție a energiei de către structură poate estima capacitatea de rezistență a clădirii la mișcări de tip seismic.

Posibilitatea de absorbție a energiei determina legătura dintre energia de intrare și proprietățile structurii (mecanice, geometrice, dinamice,...), relație care devine esențială pentru dezvoltarea metodelor de proiectare.

Din acest motiv, în ultima perioadă de timp, majoritatea studiilor numerice și experimentale evaluează și studiază componentele bilanțului energetic, urmărindu-se în special energia disipată prin deformații plastice. Această mărime poate caracteriza eficient incursiunile în domeniul elasto-plastic a structurilor supuse cutremurelor puternice și evaluarea ei permite definirea degradărilor structurale.

O altă problemă în care aplicarea metodelor energetice prezintă avantaje este conversia rezultatelor experimentale obținute în urma încercărilor pe modele acționate static ciclic-alternant, la scara evenimentelor seismice reale, atât în scopul

analizei fenomenelor cât și în cel al îmbunătățirii metodelor de proiectare.

Lucrarea de față are următoarele scopuri:

- accentuarea avantajelor oferite de utilizarea metodelor și conceptelor energetice în analiza datelor obținute experimental prin încercări statice monotone crescătoare și ciclice alternante;
- analiza relațiilor caracteristice pentru degradarea rigidității și respectiv pentru energia disipată în domeniul plastic;
- probleme legate de alegerea valorilor semnificative de răspuns bazate pe evoluția mărimilor componente ale ecuației de bilanț energetic.

2. Teste experimentale

2.1. Modele experimentale

Modelul experimental de bază utilizat în experimentări este un cadru portal cu deschiderea de 5,00 m și înălțimea de 3,30 m, având stâlpi cu secțiunea de 40x40 cm și grinda cu secțiunea de 60x25cm realizate din beton clasa BC20, armat cu oțel tip PC52 și OB37 (pentru detalii vezi Diaconu *et al.* 1992). Conform programului experimental realizat, testele au fost executate în variantele prezentate în **Tabelul 1**.

Zidăria din ochiul de cadru a fost realizată pentru modelele specificate mai sus utilizând cărămidă normală clasa C75 și mortar M50 pe o grosime de 25cm. Armarea modelelor C3 și C4 a fost realizată cu bare de oțel Φ 8-OL37. Consolidarea modelului C5c a fost realizată pe zidăria degradată în urma testelor făcute pe modelul C5, prin cămășuire pe ambele fețe cu o grosime de 5,0cm din mortar M100 armată cu plasă sudată din STNB Φ 6-(200x200).

Tabelul 1

Model	Caracteristici	Tip încercare
C1	Cadrul de bază	monoton-crescător
C2	Cadrul de bază	ciclic-alternant
C3	Cadrul de baza umplut cu zidărie armată	monoton-crescător
C4	Cadrul de baza umplut cu zidărie armată	ciclic-alternant
C5	Cadrul de baza umplut cu zidărie simplă	ciclic-alternant
C5c	Cadrul e baza umplut cu zidărie simplă consolidata prin cămășuire	ciclic-alternant

2.2 Încercări experimentale

Încercările monotone crescătoare au fost realizate prin aplicarea unei forțe laterale utilizând dispozitive hidraulice de acționare, până la cedarea modelului.

Încercările ciclic alternante au fost realizate cu ajutorul a doi cilindri hidraulici, forța fiind aplicată succesiv în ambele sensuri, respectând următoarele caracteristici: (a) 5 trenuri a câte 4 cicluri la forța impusă, crescător de la $1/5 F_c$ până la F_c ; (b) 5 trenuri a câte 3 cicluri la deplasare impusă, crescător de la $D_c + 1/5(D_u + D_c)$ până la D_u . Conform datelor obținute din testele monotone-crescătoare pe modelele C1 și C3 rezultă:

- pentru modelul C1: $F_c = 25tf$
 $D_c = 40.15mm$
 $F_u = 27tf$
 $D_u = 134.516mm$
 $1/5F_c = 5tf$
 $1/5(D_u - D_c) = 18.687mm$
- pentru modelul C3: $F_c = 60tf$
 $D_c = 8.007mm$
 $F_u = 76tf$
 $D_u = 65.869mm$
 $1/5F_c = 12tf$
 $1/5(D_u - D_c) = 11.572mm$

3. Relații degradare rigiditate – energie disipată

Ecuția de bilanț energetic utilizată în cazul încercărilor statice ciclic-alternante este de forma:

$$E_i = E_h + E_{er} \quad (1)$$

unde: E_i - energia de intrare (lucrul mecanic realizat de forța de acționare pe deplasarea obținută în punctul de aplicație a acesteia);

- E_h - energia disipată de model;
- E_{er} - energia elastică de revenire.

Calculul componentelor energetice a fost realizat prin prelucrarea datelor experimentale obținute, conform Fig. 1, utilizând mediul de programare oferit de MATLAB. A fost urmărită, de asemenea rigiditatea secanta medie pe ciclul de încărcare.

Relațiile care exprimă degradarea de rigiditate (K) și cele care reflectă energia disipată de model (E) au fost trasate funcție de numărul de cicluri de

încărcare, forța de acționare, deplasarea de răspuns în punctul de aplicație a forței.

Aceste relații (K-E) au fost realizate astfel încât să permită comparații între datele de răspuns pe modele funcție de:

- Modul de acționare (monoton crescător - ciclic alternant) - între modelele C1-C2 (cadru simplu) și respectiv C3-C4 (cadru cu zidărie armată);
- Tipul de zidărie din ochiul de cadru (C4 - zidărie armată; C5 - zidărie simplă; C5c - zidărie simplă consolidată prin cămășuire). Pentru a spori gradul de generalitate, valorile energiei și ale rigidității au fost normalizate astfel:

- Rigiditatea funcție de valoarea inițială (k_0) pe model pentru comparația 1 și funcție de valoarea obținută la primul ciclu de 24tf la modelul C5 pentru comparația 2, utilizând relația:

$$K = \frac{k_i}{k_0} * 100 \quad \% \quad (2)$$

- Energia de intrare (E_i) și cea disipată plastic (E_h) funcție de valoarea energiei de intrare ultime sumate, de asemenea pe modele pentru comparația 1 și funcție de valoarea caracteristica obținută pe modelul C5 pentru comparația 2, utilizând relațiile:

$$E_i = \frac{\sum E_i}{(\sum E_i)_{ultim}} * 100 \quad E_h = \frac{\sum E_h}{(\sum E_i)_{ultim}} * 100 \quad \% \quad (3)$$

Rezultatele pentru cele două tipuri de comparații realizate prin intermediul funcțiilor K și E sunt prezentate astfel:

- Fig. 2a, b - model C1 acționat monotone crescător până la cedare;
- Fig. 3a, b - model C2 acționat ciclic-alternant;
- Fig. 4a, b - model C3 acționat monotone crescător până la cedare;
- Fig. 5a, b - model C4 acționat ciclic-alternant;
- Fig. 6a, b, c - comparație între modelele C4 și C5 (zidărie armată respectiv zidărie simplă);
- Fig. 7a, b, c - comparație între modelele C5 și C5c (zidărie simplă respectiv zidărie cămășuită).

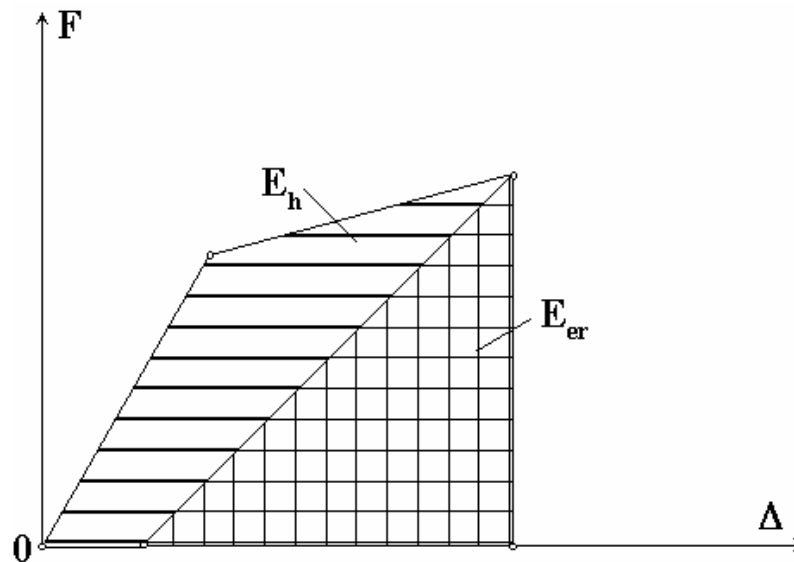


Fig. 1. Componentele bilanțului energetic în cazul încercărilor ciclic alternante.

Din datele prezentate pot fi extrase două categorii de concluzii, și anume:

- Cele referitoare la comportarea modelelor supuse încercărilor, care oferă date procentuale privind caracteristicile de rigiditate și energie absorbită funcție de forță și deplasare, informații specifice tipurilor structurale încercate;
- Cele legate de relația dintre degradarea de rigiditate și energia absorbită, categorie care este accentuată de prezenta lucrare.

Legat de tipul de zidărie înglobat în ochiul de cadru este de remarcat că:

- Fata de zidăria simplă, cea armată aduce un spor de rigiditate inițială și mărește domeniul de comportare postelastice;
- Zidăria simplă degradată și cămășuită conduce la obținerea unor rigidități inițiale mai mici care se degradează mai lent fata de zidăria simplă;
- Zidăria simplă degradată și camășuită prezintă o reducere semnificativă a capacității de disipare a energiei în domeniul plastic de comportare.

4. Concluzii

Din cele prezentate rezulta:

- Legile de descreștere a rigidității și cea de creștere a energiei absorbite sunt diferite (dacă legile ar fi liniare compensarea celor două mărimi ar trebui să fie de 100%).
- Intersecția celor două curbe caracteristice se face într-un punct de balans care reprezintă o caracteristică dependentă atât de sistemul structural cât și de modul de acționare.
- Se observă că punctul de balans împarte comportarea structurală în două domenii distincte și anume:
 - Domeniul I caracterizat printr-o degradare accentuată a rigidității și lege de absorbție a energiei cvasi-liniara.

- Domeniul II caracterizat printr-o degradare cvasi-liniara a rigidității și creșterea puternică a energiei absorbite.
- Conform datelor prezentate rezulta ca domeniul I, până la punctul de balans, este domeniul de interes pentru proiectare, depășirea acestui domeniu indicând un grad înalt de deteriorare a structurii, punându-se serios problema oportunității consolidării.
- De asemenea, punctul de balans face o delimitare clară în ceea ce privește domeniile de utilizare a calculului bazat pe degradarea rigidității față de unul bazat pe concepte energetice (ambele domenii au legi constitutive total diferite).

BIBLIOGRAFIE

- Akiyama H. (1985) *Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings*, University of Tokyo Press.
- Diaconu A. C., Diaconu D., Popa T. (2001), *Studii privind cuantificarea gradului de degradare al elementelor structurale din beton armat și zidărie*, contract INCERC 551, 2000-2001.
- Diaconu A. C. (2007), *Bilanțul energetic în timpul acțiunii seismice*, Editura Societății Academice "MATEI-TEIU BOTEZ", Iasi, ISBN 978-973-8955-15-8.
- Diaconu A. C., Hariga, F. R. (1995), *Evaluarea energiei disipate în structurile avariate și consolidate din acțiunea seismică*, ctr. nr. A165/1994-1995, MCT.
- Diaconu D., Hariga F. R., Diaconu A. C (1992), *Studii parametrice, experimentale și analitice privind influența diaframelor moi, a diaframelor din b.a. monolit și prefabricat și a contravânturilor metalice la limitarea deplasărilor relative de nivel la structurile în cadre*, ctr. nr. 1304/1990-1992, MLPAT.
- Krawinkler H. (1997) *Seismic Design Based on Inelastic Behaviour*, UCB/EERC 97/05, Berkeley, California.
- Stojadinovic B., Theval C. R. (1996), *Energy Balanced Hysteresis Models*, 11-WCEE, 1996, Acapulco, Mexico.

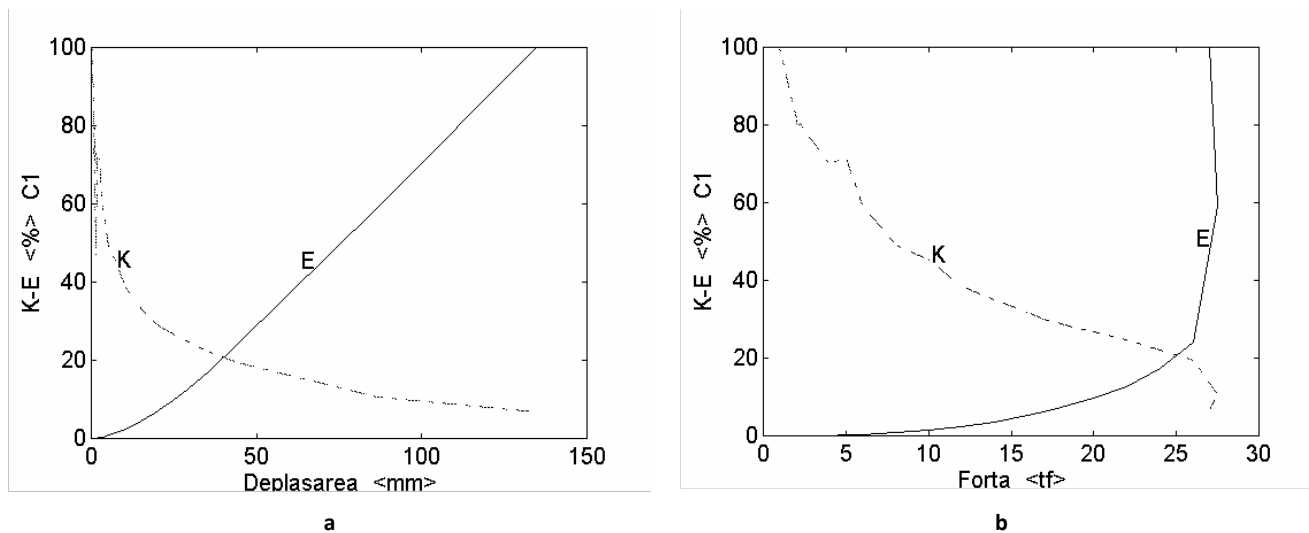


Fig. 2. Cadrul simplu acționat monoton crescător (C1)

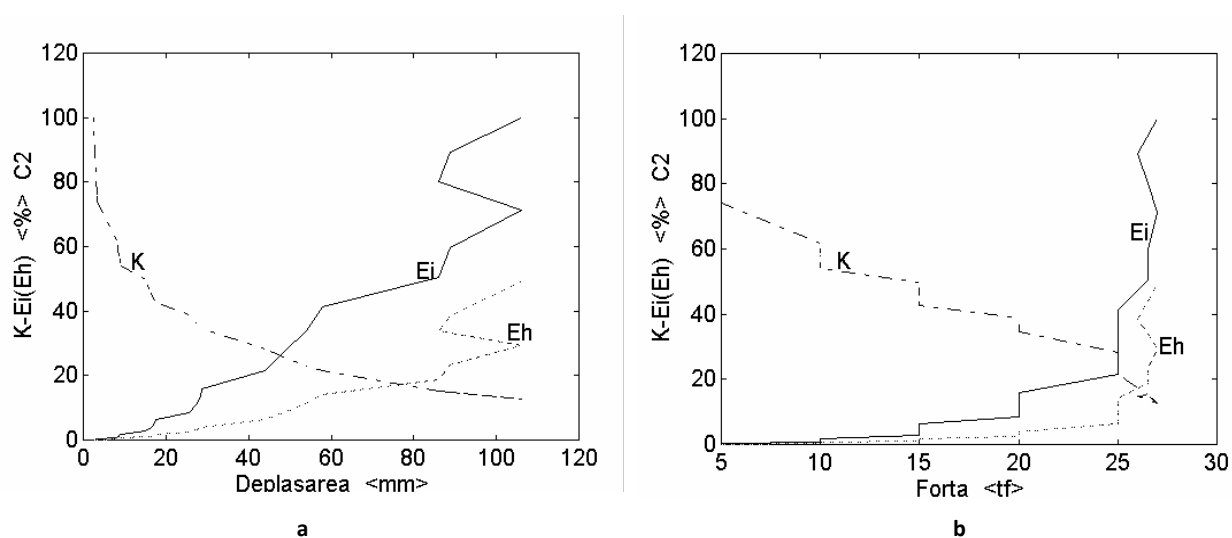


Fig. 3. Cadrul simplu acționat ciclic alternant (C2)

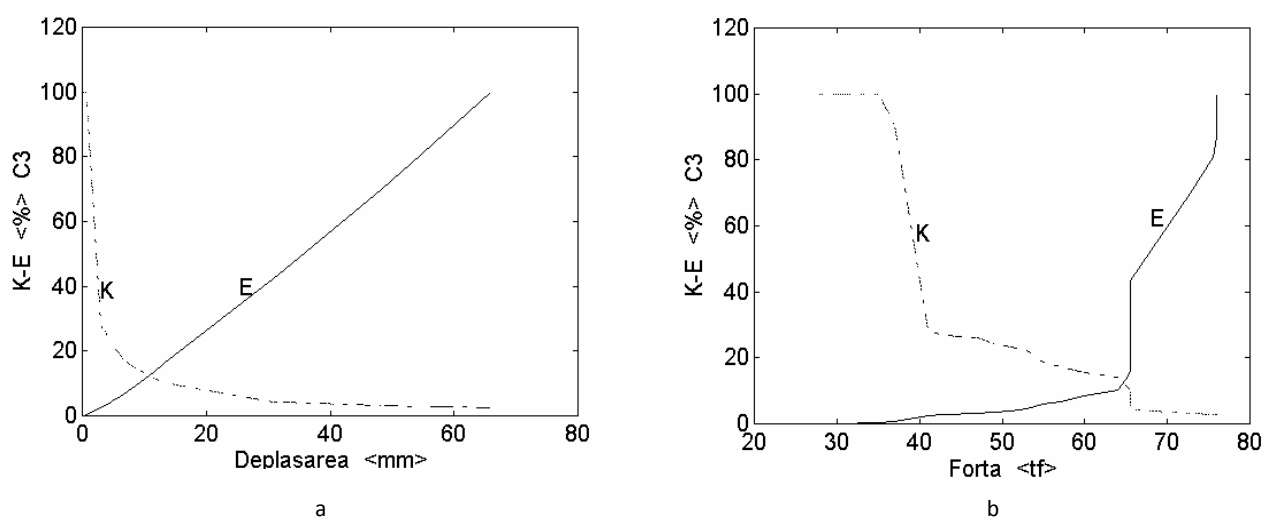


Fig. 4. Cadrul cu zidărie armată acționat monoton crescător (C3)

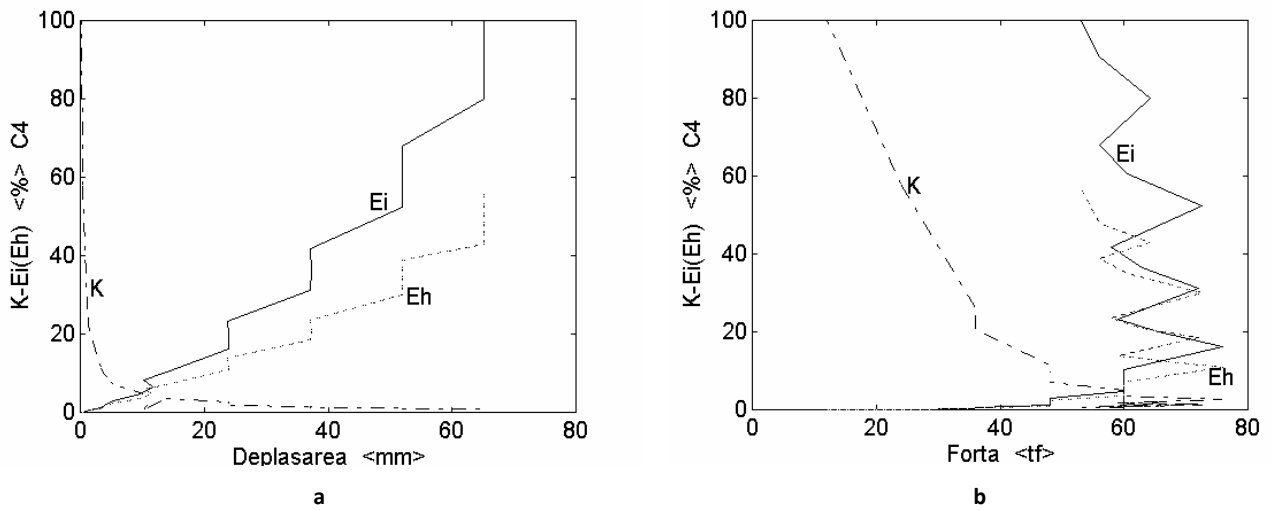


Fig. 5. Cadrul cu zidărie armată acționat ciclic alternant (C4)

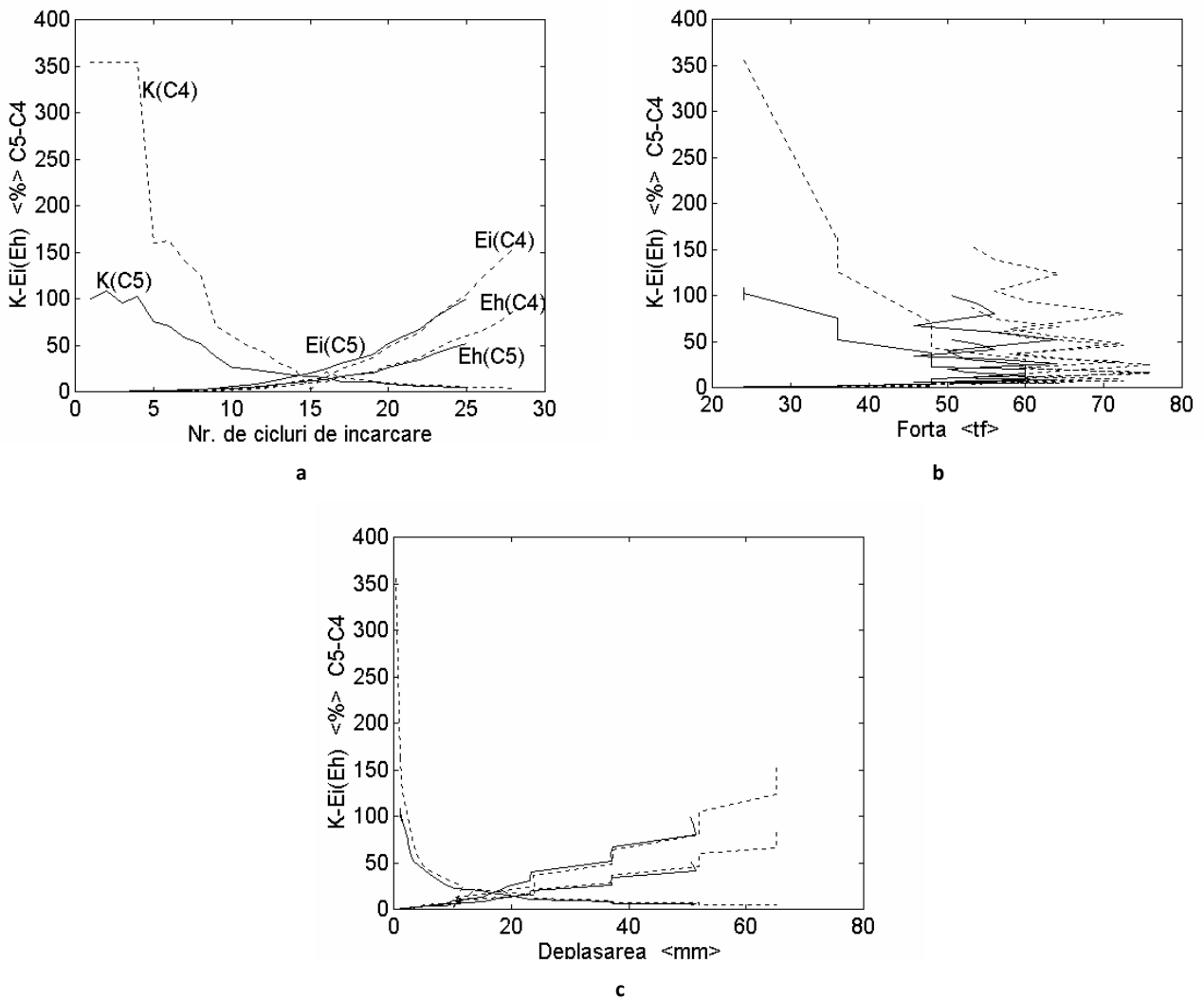


Fig. 6. Comparație C5-C4 (cadrul cu zidărie simplă față de cadrul cu zidărie armată)

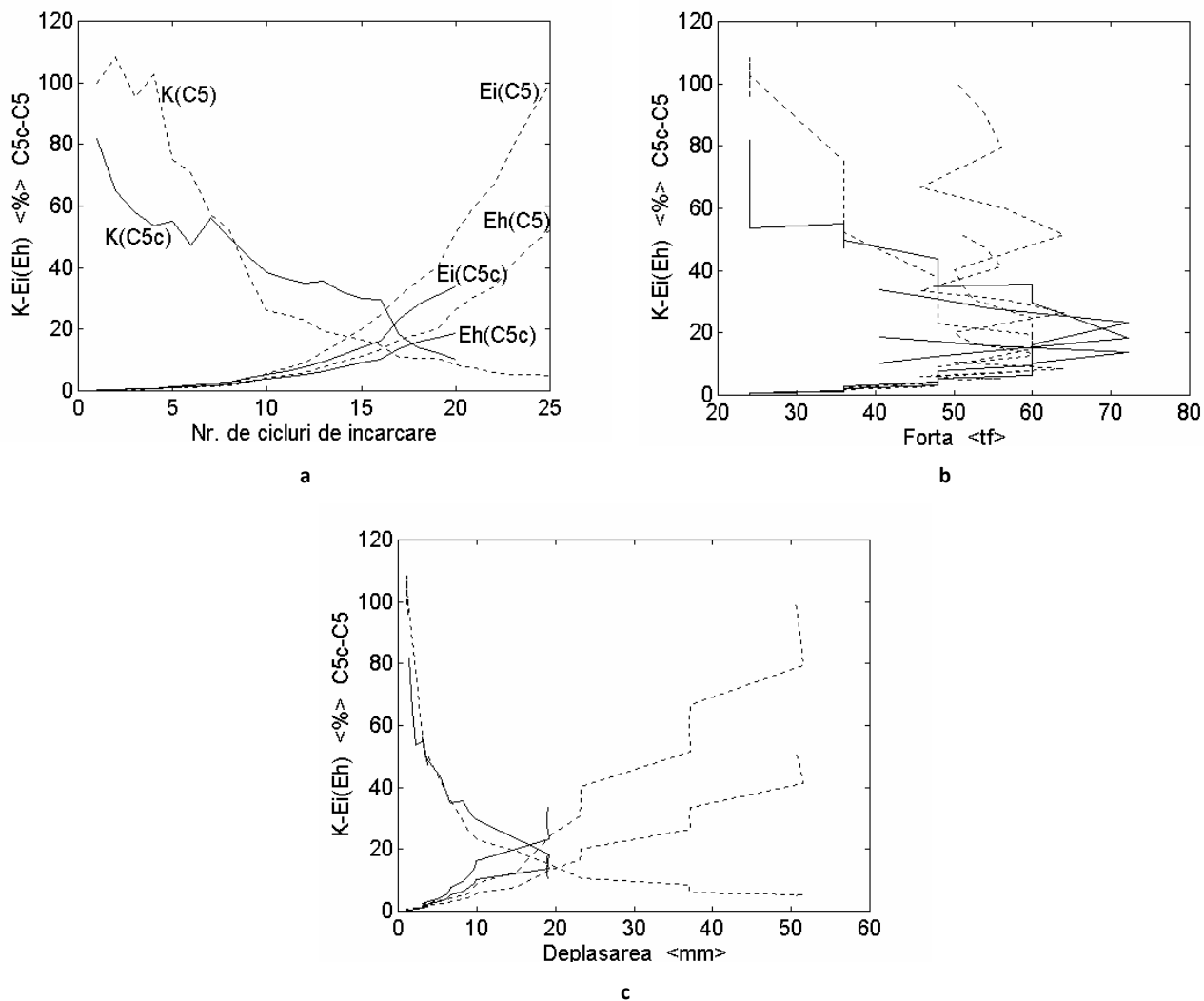


Fig. 7. Comparație C5c-C5 (cadrul cu zidărie cămășuită față de cadrul cu zidărie simplă)

Primit: 7 mai 2011; acceptat în forma finală: 21 mai 2011