

POSSIBILITĂȚI DE REDUCERE A CONCENTRĂRILOR DE TENSIUNI ÎN COLȚURILE CADRELOR PLANE

JIPA-DRĂGAN Vlad-Costin, IOLU Cristi-Emanuel, DINCĂ Radu-Șerban
Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Specializarea: Sisteme și echipamente termice,
Anul de studii: II, email: vladcostin12k97@gmail.com

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. **Adriana SANDU**, Prof. Dr. Ing. **Marin SANDU**

REZUMAT: În lucrare sunt analizate posibilitățile de reducere a concentrărilor de tensiune în colțurile unor cadre plane. Sunt comparate, după analiza cu metoda elementelor finite, mai multe variante de realizare a nodurilor rigide ale cadrelor plane: unghi drept, racordare, degajare. Au fost formulate unele concluzii utile pentru activitatea de proiectare a structurilor de acest fel.

CUVINTE CHEIE: Concentrator de tensiune, cadre plane, metoda elementelor finite.

1. Introducere

Cadrelor plane sunt elemente de rezistență în clădiri și structuri de inginerie civilă (Fig. 1). Aceste cadre sunt combinații de bare și coloane unite prin noduri rigide cu unghiuri drepte. Nodurile rigide transferă forțe și momente între componentele orizontale și cele verticale și joacă un rol major în rezistența la încărcări laterale.

În cazul în care la colțurile cadrelor sunt unghiuri drepte, tensiunile locale, teoretic, tind către infinit datorită fenomenului de concentrare. În realitate aceste tensiuni au valori finite din cauza faptului că unghiurile nu pot fi realizate, din punct de vedere tehnologic, la 90° [1].

Pentru a reduce fenomenul de concentrare a tensiunilor se adoptă diferite soluții constructive, cea mai uzuală fiind racordarea.

În prezenta lucrare sunt studiate structuri precum cele prezentate în figura 2. Cadrul plan este încastrat la un capăt și sollicitat la încovoiere pură cu momentul M (Fig.2,a). Cele două bare componente sunt unite printr-un nod rigid care este realizat în trei variante constructive, prezentate în Fig.2,b: unghi drept; racordare și degajare.

2. Considerații teoretice privind calculul factorului de concentrare a tensiunilor în colțurile cadrelor plane

Orice discontinuitate a secțiunii transversale a unei bare reprezintă un concentrator de tensiune. Valoarea maximă a tensiunii depinde de tipul concentratorului, forma și dimensiunile piesei și cele ale concentratorului [2].

Factorul teoretic de concentrare a tensiunilor K_t se determină cu relația:

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (1)$$

unde:

σ_{max} este tensiunea maximă la discontinuitatea geometrică;

σ_{nom} este tensiunea nominală (medie) în secțiunea transversală respectivă.

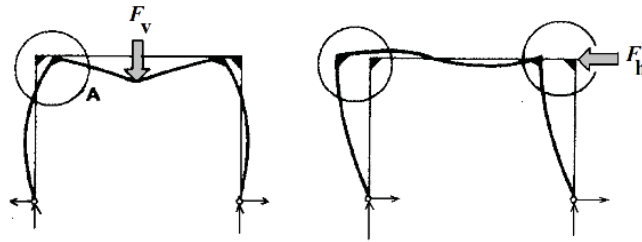


Fig. 1: Exemple de cadre plane

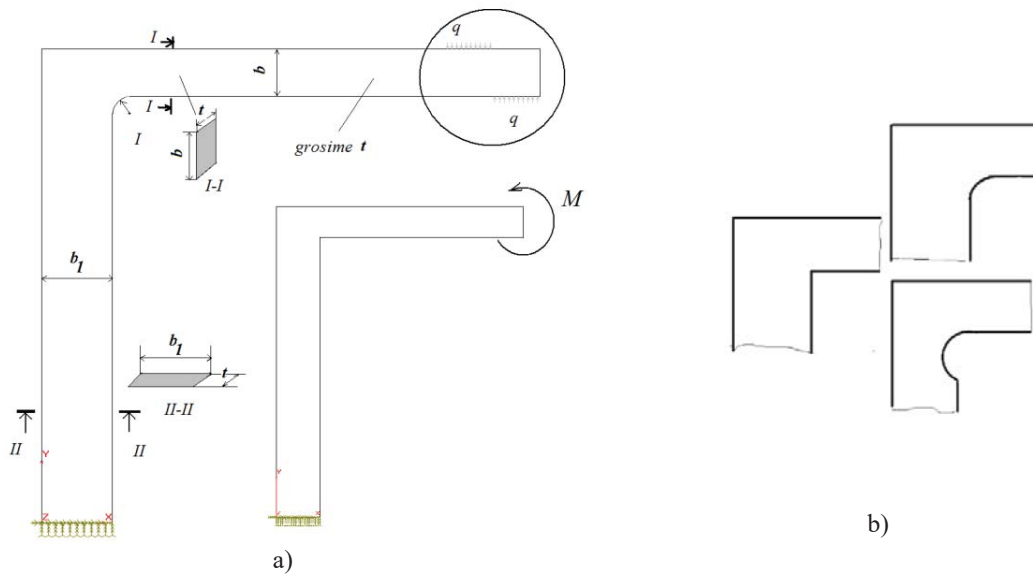


Fig. 2: Schița structurii studiate

Valorile factorului de concentrare a tensiunilor [2], [3] sunt date sub formă de tabele sau de diagrame.

Cu notațiile din figura 2, valorile tensiunilor nominale din secțiunile I și II se determină cu relațiile:

$$\sigma_{nom I} = \frac{M}{W_{yI}} = \frac{M}{\frac{t \cdot b^2}{6}} \quad (2)$$

$$\sigma_{nom II} = \frac{M}{W_{yII}} = \frac{M}{\frac{t \cdot b_I^2}{6}} \quad (3)$$

3. Estimarea factorului de concentrare a tensiunilor prin analiza cu metoda elementelor finite

Simularea numerică a stării de tensiune din structurile studiate s-a realizat cu metoda elementelor finite [4]. S-a utilizat programul SolidWorks/CosmosM 5].

Structura a fost discretizată în elemente de stare plană de tensiune de tip TRIANG (3 noduri pe element). Discretizarea s-a făcut automat pe suprafețele componente. Au rezultat 4119 elemente interconectate în 2276 de noduri.

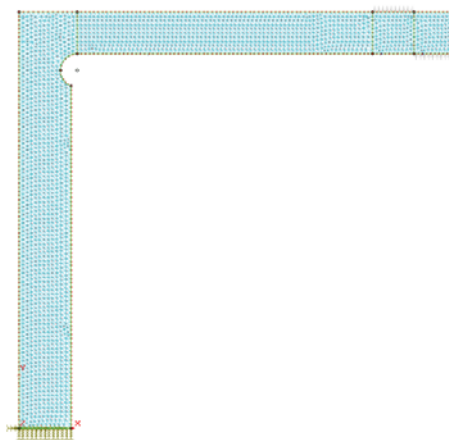


Fig. 3 Model de calcul

Momentul încovoietor aplicat structurii a fost simulat sub forma a două sarcini uniform distribuite ca în Fig. 3.

Modelul a fost descris parametric pentru a permite modificări ale geometriei (raze de racordare, poziția centrului cercului de racordare, lățimile barelor componente).

Se poate studia în acest mod influența geometriei concentratorului asupra stării de tensiune din structuri.

4. Posibilități de reducere a concentrărilor de tensiune în colțurile cadrelor plane

Au fost analizate mai multe seturi de valori pentru parametrii geometrici care descriu structura. Valorile acestor parametri sunt date în tabelul 1. În tabel sunt prezentate și valorile tensiunilor maxime și ale celor nominale din secțiunile I și II, pe baza calculului numeric.

Tabelul 1. Seturile de parametri geometrici și rezultatele obținute cu MEF

Set	b_1	b	r	$\sigma_{ech,max}$	σ_{nom1}	σ_{max1}	σ_{nom2}	σ_{max2}	k_{t1}	k_{t2}
A	10	10	0	11.35	5.76	10.76	5.52	10.29	1.87	1.86
B	10	10	4	7.02	5.46	6.6	5.54	6.7	1.21	1.21
C	12.5	10	0	10.75	5.7	10.35	3.79	7.59	1.92	2
D	12.5	10	4	6.95	5.53	6.61	3.59	7.34	1.19	2.04
E	15	10	0	10.58	5.8	10.25	2.64	6.17	1.77	2.33
F	15	10	4	7.16	5.52	7.13	2.52	3.59	1.29	1.42
G	15	10	7.5	6.22	5.46	5.85	2.62	6.39	1.07	2.44

Rezultatele simulării numerice cu metoda elementelor finite sunt prezentate în figura 4, pentru cazul $b_1=b$, și două variante ale nodului rigid: în formă de unghi drept (set A) și cazul racordării cu raza de racordare $r=4$ mm (set B).

Pentru acest caz ($b_1=b$), în literatura [2] sunt date valorile factorului teoretic de concentrare a tensiunilor. Pentru setul B, K_t are valoarea egală cu aproximativ 1.3. Valoarea calculată în tabelul 1 este 1.21. O discretizare mai fină în zona concentratorului poate conduce la o aproximare mai bună a coeficientului de concentrare a tensiunilor, K_t .

Se constată că racordarea are ca efect reducerea tensiunii echivalente maxime din structură (calculată cu teoria lui Von Mises) și implicit a factorilor de concentrare a tensiunilor în cele două secțiuni din vecinătatea concentratorului, așa cum rezultă și din tabelul 1.

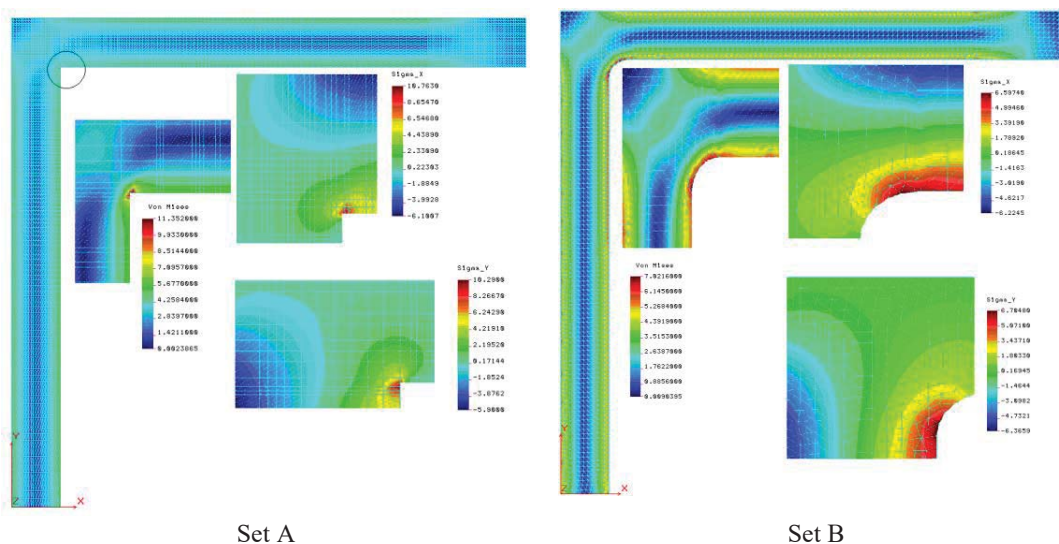


Fig. 4: Distribuția tensiunilor pentru variantele A și B

În figura 5 sunt prezentate rezultatele obținute pentru cazul în care lățimea barei verticale (b_1) este mai mare decât cea a barei orizontale (b), pentru $b_1/b=1.5$, pentru toate variantele constructive de realizare a nodului rigid: unghi drept (set E), racordare (set F) și degajare (set G).

Pentru $b_1/b=1.25$ (variante C și D) rezultatele sunt prezentate în tabelul 1.

Se constată că în cazul în care lățimile barelor componente nu sunt egale, un efect mai mare asupra tensiunii maxime îl are degajarea (Tabel 1, Fig. 5), comparativ cu racordarea.

5. Analiza experimentală a tensiunilor prin fotoelasticitate

Fotoelasticitatea se numără printre mijloacele cele mai folosite în analiza experimentală a stării de tensiune [6].

Fotoelasticitatea are la bază fenomenul de birefrință accidentală care apare la materiale transparente optic active, atunci când sunt solificate mecanic (Fig.6).

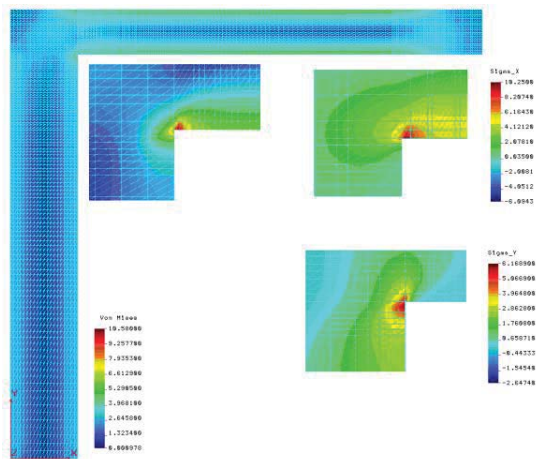
Au fost realizate modele din araldit, la scara 2:1, ale structurilor cu dimensiunile conform seturilor A (referinta) și G (lățimi inegale, cu degajare).

Examinarea celor două modele în lumină polarizată permite o analiză calitativă a distribuției tensiunilor și identificarea punctelor cele mai solificate din structură.

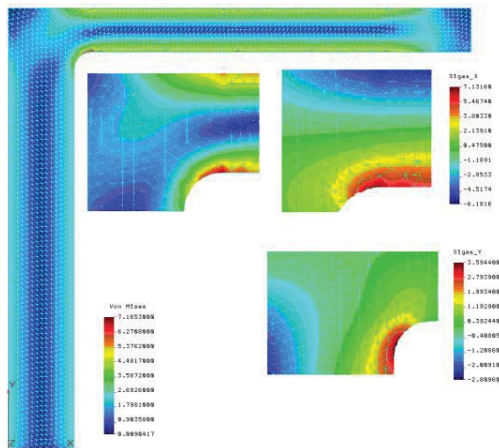
În cazul setului A se obține o foarte bună concordanță cu rezultatele teoretice [2], [3].

În figura 6,b se prezintă distribuția izocromatelor pe un model la scară al structurii cu degajare, cu dimensiunile corespunzătoare setului G.

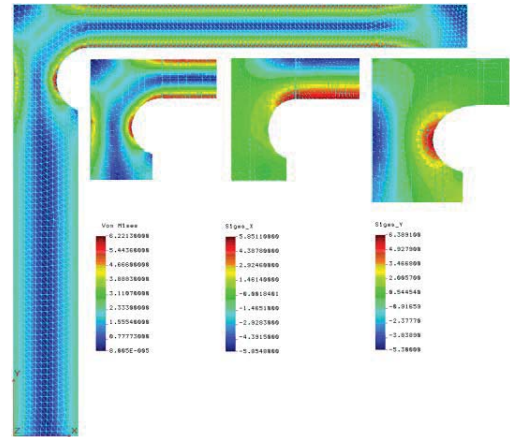
Se poate constata că punctele cele mai solificate au fost localizate la fel atât în studiul experimental cât și în simularea numerică.



Set E



Set F



Set G

Fig. 5: Distribuția tensiunilor pentru variantele E,F și G



a) Standul experimental



b) Interpretarea rezultatelor

Fig. 6 Studiul experimental al tensiunilor

6. Concluzii

Nodurile rigide ale cadrelor plane nu trebuie să fie în unghi drept, pentru că în acest caz tensiunile maxime locale au valori foarte mari.

Soluția uzuală pentru reducerea concentrărilor de tensiune o reprezintă racordarea. Pentru această soluție în literatură există valori ale factorului de concentrare a tensiunilor doar pentru cazul în care lățimile barelor concurente în nod sunt egale.

În această lucrare s-a studiat și cazul în care lățimile nu sunt egale, constatându-se că o soluție mai bună pentru acest tip de concentrator de tensiune o reprezintă degajarea. Aceasta presupune reducerea secțiunii mai mari, ceea ce are ca efect o redistribuire a tensiunilor, și, implicit, o reducere a tensiunilor maxime din structură.

Studiul experimental prin metoda fotoelasticității a confirmat această concluzie.

7. Bibliografie

- [1]. Van Erp G. M., Ayers S. R., Simpson P. E.. (2000), "Design of fibre composite structures in a civil engineering environment", Proceedings of the ACUN-2 International Composites Conference, Sydney, 16–22. Google Scholar
- [2]. Mincă I., Atanasiu C., Sandu A., Sandu M., (1998), *Rezistența materialelor și elementelor de Teoria elasticității*, Editura Tehnică, București, ISBN 973-31-1244-5.
- [3]. Pilkey W. D., Pilkey D.F., (2008), *Peterson's stress concentration factors*, John Wiley & Sons INC., ISBN 978-0-470-04824-5;
- [4] Sandu A., Sandu M., Găvan M., (2003), *Metode și programe pentru calculul structurilor elastice*, Editura Printech, ISBN 973-652-735-2
- [5]. *** COSMOS/M – Finite Element System, User Guide, 1995.
- [6]. Mocanu D.R.. (1976), *Analiza experimentală a tensiunilor*, Editura Tehnică, București, 298,318;2