

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/342503823>

# Riscurile utilizării softurilor de analiză structurală în proiectarea structurilor și consecințele acestora

Conference Paper · May 2019

CITATIONS

0

READS

402

4 authors, including:



**Nagy Zsolt**

Universitatea Tehnica Cluj-Napoca

41 PUBLICATIONS 96 CITATIONS

SEE PROFILE



**Andrea Dezo**

Universitatea Tehnica Cluj-Napoca

9 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



CFSExpert - Structural design tool for cold-formed steel structures [View project](#)



Research on stressed skin diaphragm design [View project](#)

# Riscurile utilizării softurilor de analiză structurală în proiectarea structurilor și consecințele acestora

Zsolt Nagy <sup>\*</sup>, Andrea Dezó <sup>2</sup>, Barnabás Lőrincz <sup>3</sup> și Adina-Ana Mureșan <sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Universitatea Tehnică Cluj, Facultatea de Construcții, Departamentul de Structuri  
Str. Gh. Barițiu Nr.25, 400020, Cluj-Napoca, România

<sup>3,4</sup> Gordias SRL,  
Str. Carpați Nr.1, 400180, Cluj-Napoca, România

## Rezumat

*Comportamentul mecanic al unui model analizat este influențat și limitat în mare măsură de tipul de elemente finite folosite în analiză. Deplasările, forțele, funcțiile de formă, efectele de ordinul al II-lea considerate în modelul structural respectiv influențează calitatea analizei structurale, rezultatele finale și metodele standard de verificare. Este foarte important să se acorde o atenție sporită caracteristicilor elementelor finite încă din faza de modelare a structurii pentru a se evita comportamente mecanice neprevăzute și pentru o analiză structurală cât mai precisă.*

*În general, în analiza structurală a unui model spațial, un element finit are 6 grade de libertate (GL) astfel: 3 translații  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$  și 3 rotiri  $\Phi_x$ ,  $\Phi_y$ ,  $\Phi_z$  definite în funcție de sistemul local/global de coordonate al modelului. Aceste GL sunt aplicate barelor supuse la forță axială, forfecare, moment încovoietor, torsiune sau orice combinație între aceste eforturi. Pe lângă aceste 6 GL convenționale, există programe de analiză structurală care introduc un al 7-lea GL care este special conceput pentru analiza la stabilitate structurală. Al 7-lea GL reprezintă, din punct de vedere matematic, prima derivată a rotirii în raport cu axa longitudinală ( $\Phi_x'$ ) și ia în considerare efectul de deplanare, care prezintă unele particularități, în special în cazul barelor cu secțiuni transversale nesimetrice.*

*Această lucrare prezintă influența celui de-al 7-lea GL asupra rezultatelor analizei structurale, care este pusă în evidență prin analiza unei grinzi cu secțiune transversală nesimetrică, simplu rezemată și supusă la încărcări liniare, uniforme distribuite. În cazul secțiunilor nesimetrice centrul de torsiune nu coincide cu centrul de greutate. Analiza este efectuată pe rând în două programe de analiză structurală cu elemente finite având 12, respectiv 14 grade GL. Rezultatele finale sunt comparate și discutate pentru fiecare studiu de caz în parte.*

**Cuvinte cheie:** structuri metalice, analiză structurală, Metoda Elementului Finit, grade de libertate

## 1. Introducere

Comportamentul mecanic al unui model analizat este influențat și, în același timp, limitat în mare măsură de tipul elementelor finite folosite în analiză. Deplasările, forțele, funcțiile de formă, efectele de ordinul al II-lea introduse în modelul structural respectiv influențează calitatea analizei structurale, rezultatele finale și metodele standard de verificare. Este foarte important să se acorde atenție sporită caracteristicilor elementelor finite încă din faza de modelare a structurii. În acest fel utilizatorul poate conștientiza care din comportamentele mecanice ale modelului rămân neacoperite și va utiliza rezultatele obținute ca atare.

În practica curentă există diverse unelte pentru analiza structurală a clădirilor care vin în

sprijinul inginerilor proiectanți de structuri. Programele de analiză structurală utilizate în practica curentă se bazează pe Metoda Elementului Finit (MEF) și efectuează diverse tipuri de analiză (static liniară, static neliniară, vibrații, flambaj), utilizând diferite tipuri de elemente finite (EF). În general, programele de analiză structurală utilizează EF de tip bară cu secțiune constantă, EF de tip „shell” triunghiulare sau în formă de patrulater și/sau EF mixte. Precizia rezultatelor finale depinde de mulți factori, printre care și densitatea rețelei de discretizare. Majoritatea programelor de analiză structurală utilizează EF convenționale cu 12 GL (6 GL pentru un nod), însă există și programe de analiză structurală care utilizează EF speciale cu 14 GL (7 GL pentru un nod), care includ efectul de deplanare și care sunt special concepute pentru analiza la stabilitate structurală a modelelor 3D.

Această lucrare prezintă influența elementelor finite cu 14 GL asupra preciziei rezultatelor analizei structurale a elementelor cu secțiune transversală nesimetrică, în cazul cărora centrul de greutate nu coincide cu centrul de torsiune. Precizia elementelor finite cu 14 GL în analiza secțiunilor transversale nesimetrice și/sau a barelor cu pereți subțiri a mai fost studiată și în alte lucrări științifice. De exemplu, Papp [1] a studiat diferența dintre rezultatele obținute prin formule analitice și cele obținute prin analiza cu EF cu 14 GL în cazul unui stâlp dublu articulată cu secțiune transversală nesimetrică de tip „C”, supus la flambaj prin încovoiere-răsucire și a unei grinzi simplu rezemate cu secțiune transversală simetrică de tip „I”, supusă la flambaj lateral. Ziemian et al. [2] au studiat precizia programelor care folosesc EF cu 14 GL în analiza la flambaj a barelor cu pereți subțiri cu secțiune nesimetrică. În această lucrare, influența EF cu 14 GL asupra preciziei rezultatelor analizei structurale este pusă în evidență prin studiul unei grinzi simplu rezemate, cu secțiunea transversală laminată UPE, utilizată ca pană pentru acoperiș. Analiza grinzii este efectuată, pe rând, într-un program care utilizează EF convenționale (cu 12 GL) și, respectiv într-un program care utilizează EF cu 14 GL. În următoarele paragrafe sunt prezentate metodologia studiului, rezultatele finale și concluziile fiecărui studiu de caz.

## 2. Al 7-lea grad de libertate al elementului finit

În practica curentă, există programe de analiză structurală care folosesc trei tipuri de elemente finite liniare: (i) elemente finite cu 6 GL pe nod (EF cu 12 GL), aplicate în analiza barelor supuse la forță axială, forfecare, moment încovoietor, torsiune sau oricare combinație între aceste încărcări, (ii) elemente finite cu 7 GL pe nod (EF cu 14 GL), care includ efectul de deplanare și (iii) elemente finite aplicate doar barelor supuse la forța de întindere. În acest paragraf sunt descrise doar elementele finite cu 7 GL pe nod.

Elementele finite cu 7 GL pe nod prezintă multe avantaje, în special la analiza elementelor structurale cu secțiune transversală nesimetrică și, respectiv a barelor cu pereți subțiri, unde fenomenul de deplanare al secțiunii are o influență semnificativă asupra rezultatelor finale. În Fig. 1 sunt reprezentate deplasările nodale ale elementului finit cu 7 GL pe nod pentru o secțiune „U”.

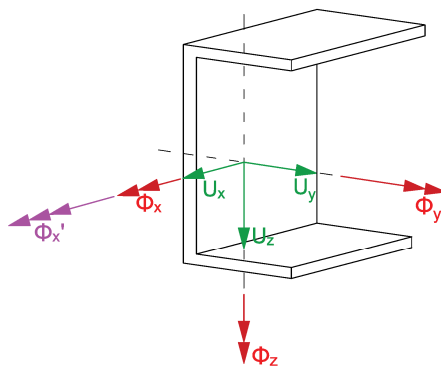


Figura 1: Cele 7 grade de libertate ale nodului.

Primele 6 GL sunt deplasări convenționale: 3 translații ( $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ ) și 3 rotații ( $\Phi_x$ ,  $\Phi_y$ ,  $\Phi_z$ ), fiecare fiind definite în raport cu sistemul local/global de coordonate al elementului structural

analizat. Al 7-lea GL reprezintă, din punct de vedere mecanic, efectul de deplanare al secțiunii transversale, care este o consecință a torsiunii grinzilor cu secțiune transversală nesimetrică și, respectiv a barelor cu pereți subțiri. Din punct de vedere matematic, al 7-lea GL reprezintă prima derivată a rotirii în raport cu axa longitudinală  $\Phi_x'$ . În Fig. 2 este prezentat efectul de deplanare al unei secțiuni de tip „I” ale cărei tălpi se deformează de-a lungul secțiunii transversale. În acest caz, al 7-lea GL este considerat un cuplu de rotiri cu originile în tălpile secțiunii „I”, direcțiile normale la tălpi și sensurile de rotire opuse.

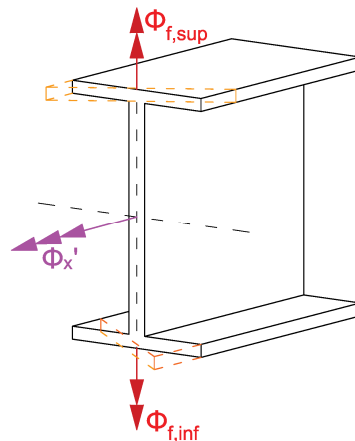


Figura 2: Efectul de deplanare al unei secțiuni transversale „I” surprins de cel de-al 7-lea GL.

În general, elementele structurale din oțel sunt relativ zvelte, astfel că pot să apară diverse moduri de pierdere a stabilității precum flambaj prin încovoiere, flambaj prin răsucire, flambaj lateral sau orice altă interacțiune dintre acestea. Astfel, pe lângă efectul de deplanare al secțiunii transversale, al 7-lea GL mai evaluează și modurile de pierdere a stabilității globale. Acesta este un aspect important și avantajos al programelor de analiză structurală care folosesc EF cu 14 GL, deoarece contribuie la dimensionarea și verificarea elementelor structurale la flambaj global. Deoarece precizia calculului tuturor modurilor de pierdere a stabilității depinde în mare măsură de cel de-al 7-lea GL, este important ca efectul de deplanare să fie luat în calcul încă din faza de modelare.

### 3. Metodologia de studiu a Elementelor Finite cu 12 GL, respectiv 14 GL

La realizarea studiului prezentat în această lucrare, pentru modelarea exemplurilor numerice s-au utilizat programe de analiză structurală care folosesc EF cu 12 GL, respectiv cu 14 GL. La exemplele numerice prezentate în paragraful următor s-a considerat o grindă pentru pană de acoperiș cu secțiune transversală nesimetrică laminată la cald de tip UPE 120. Grinda analizată este realizată din oțel structural de calitate S 235 (rezistența la curgere:  $f_y=235 \text{ N/mm}^2$  și rezistența ultimă:  $f_u=360 \text{ N/mm}^2$ ), conform EN 10025-2 [3]. Lungimea grinzii este  $L=4000 \text{ mm}$ , iar distanța dintre paneele de acoperiș a fost considerată  $d=1500 \text{ mm}$ . Pentru simplitatea comparațiilor grinda analizată a fost considerată simplu rezemată.

În analiza grinzii cu secțiune UPE 120 s-au considerat următoarele încărcări: (i) greutatea proprie a grinzii analizate  $G_{grindă}$ , (ii) greutatea proprie a învelitorii dispuse peste grinda de tip pană  $G_{învelitoare}$  și (iii) încărcarea din zăpadă  $Z$ . Greutatea proprie a grinzii analizate a fost calculată automat de către cele două programe de analiză structurală în care aceasta a fost modelată. Greutatea proprie a învelitorii a fost distribuită uniform liniar pe grindă și are valoarea  $G_{învelitoare}=0,6 \text{ kN/m}$ . Încărcarea din zăpadă a fost considerată  $s_k=1,2 \text{ kN/m}^2$ , valoare specifică zonei Cluj-Napoca conform SR EN 1991-1-3 [4]. În programele de analiză structurală cu care s-a modelat grinda UPE 120, încărcarea din zăpadă a fost distribuită uniform liniar, iar valoarea acesteia este  $Z=1,8 \text{ kN/m}$ . Atât în cazul utilizării EF cu 12 GL, cât și în cazul EF cu 14 GL s-a efectuat analiză de ordinul I, analiză de ordinul II și, respectiv analiză la flambaj. Încărcările au fost dispuse pe axa

longitudinală (linia de referință) a grinzii.

Combinățiile de încărcări introduse în analiză au fost următoarele conform SR EN 1990 [5]:

(i) În Starea Limită Ultimă (SLU):

$$1,35 \cdot (G_{grindă} + G_{invelitoare}) + 1,5 \cdot Z$$

(ii) În Starea Limită de Serviciu (SLS):

$$1 \cdot (G_{grindă} + G_{invelitoare}) + 1 \cdot Z$$

Rezultatele obținute în urma analizelor efectuate cu EF cu 12 GL, respectiv cu 14 GL, au fost centralizate și comparate. În următorul paragraf sunt prezentate, în detaliu, observații legate de rezultatele obținute pentru fiecare studiu de caz analizat.

#### 4. Rezultate obținute și discuții

În urma analizei efectuate în programul care folosește EF cu 12 GL, respectiv în programul care folosește EF cu 14 GL, grinda a fost verificată la Starea Limită Ultimă conform EN 1993-1-1 [6]. În SLU s-au verificat următoarele: interacțiunea forță axială-încovoiere-forfecare, rezistența la forța tăietoare după axa Z în secțiunile de reazem, rezistența la încovoiere după axa Y, respectiv Z în secțiunea de la mijlocul deschiderii, rezistența la torsiune și stabilitatea globală.

În paragrafele următoare sunt prezentate observațiile legate de rezultatele finale ale analizei fiecărui tip de model.

##### 4.1. Modelul cu EF cu 12 GL

Programul care utilizează EF cu 12 GL a încadrat automat secțiunea grinzii analizate în clasa 1. În *Tabelul 1* se observă că în cazul interacțiunii forță axială-încovoiere, gradul de utilizare al grinzii este de 44,4%, rezultatul fiind asociat verificării secțiunii de la mijlocul deschiderii. În cazul forței tăietoare după axa Z, gradul de utilizare este de 8,7%, verificarea la forța tăietoare fiind efectuată în secțiunile de reazem. În secțiunea de la mijlocul deschiderii, în *Tabelul 1*, se poate remarca faptul că în timp ce gradul de utilizare al secțiunii grinzii la încovoiere după axa Y este de 44,4%, în cazul încovoierii după axa Z, gradul de utilizare este de 0%, ceea ce corespunde situației cu momentul  $M_{z,Ed}=0$  kNm. De asemenea, se observă că gradul de utilizare în cazul interacțiunii forță axială-încovoiere (rezistența globală) și, respectiv în cazul încovoierii după axa Y au aceeași valoare, din cauză că în interacțiunea forță axială-încovoiere a intrat doar solicitarea din moment încovoiător după axa Y, celelalte solicitări (forță axială, moment încovoiător după axa Z) fiind nule.

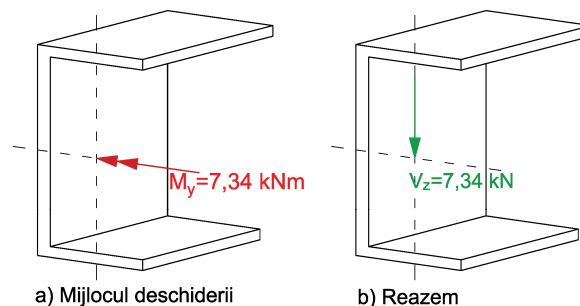


Figura 3: Eforturile interioare de la mijlocul deschiderii și, respectiv din reazem în modelul cu EF cu 12 GL.

Tabelul 1: Gradul de utilizare al secțiunii grinzii UPE 120 în modelul cu EF având 12 GL.

Secțiune	Tipul solicitării	Gradul de utilizare al grinzii
Reazem	Forță tăietoare după axa Z	8,7%
	Torsiune	0%
Deschidere	Moment încovoietor după axa Y	44,4%
	Moment încovoietor după axa Z	0%
	Interacțiune forță axială-încovoiere	44,4%

În cazul analizei la stabilitate, programul care utilizează EF cu 12 GL calculează flambajul care se produce în planul secțiunii transversale. Acest lucru înseamnă că forma deformată a elementului rămâne în planul secțiunii, iar secțiunea transversală nu se deplanează. De asemenea, programul pornește de la ipoteza că încărcările aplicate pe secțiunile transversale cu o axă de simetrie acționează în planul acestora de simetrie, adică în planul lor de încovoiere, astfel că în cazul secțiunilor transversale cu geometrie arbitrară nu se poate realiza o analiză completă la stabilitate. O altă condiție pe care programul ce utilizează EF cu 12 GL o impune secțiunilor cu geometrie arbitrară este ca axele principale de inerție să coincidă cu axele locale Y și Z ale secțiunii, condiție care nu este îndeplinită în anumite situații, cum ar fi dacă secțiunea cu geometrie arbitrară ar fi rotită cu un anumit unghi.

Profilul UPE analizat este o secțiune nesimetrică (centrul de greutate nu coincide cu centrul de rigiditate). Programul de calcul care folosește 12 GL, prin flambajul barelor se înțelege flambaj într-un plan (axa deformată a barei este o curbă plană și secțiunea barei nu se rotește în jurul axei x locale). În cazul de față, nu este respectată ipoteza impusă de programul de calcul, flambajul prin încovoiere torsiune implicând și rotirea față de axa longitudinală a barei. Astfel, programul care utilizează EF cu 6 GL nodale nu a efectuat verificări de rezistență la flambaj prin încovoiere-răsucire, în consecință, formula de verificare a stabilității globale 6.3.4 (4) b) din EN 1993-1-1 nu a putut fi aplicată comparativ. În analiza la flambaj, în cazul secțiunii nesimetrice, programul a plecat de la ipoteza ca grinda să fie supusă la încovoiere în planul de simetrie, ipoteză care în acest caz a fost neîndeplinită. În cazul secțiunilor nesimetrice, programul care modelează cu EF cu 12 GL recomandă utilizatorului ca verificările la flambaj lateral, flambaj prin răsucire și, respectiv la efecte ale voalării locale din forfecare să fie făcute prin calcul manual.

#### 4.2. Modelul cu EF cu 14 GL

La fel ca în cazul anterior, programul care utilizează EF cu 14 GL a încadrat automat secțiunea grinzii analizate în clasa 1. Din Tabelul 2 se poate observa că în cazul verificării la încovoiere după axa Y, respectiv după axa Z, programul care modelează cu EF cu 14 GL a calculat următoarele grade de utilizare în secțiunea de la mijlocul deschiderii: (i) 44,8% în cazul încovoierii după axa Y (ii) 16,5% în cazul încovoierii după axa Z și (iii) 12,5% în cazul torsiunii. La încovoierea după axa Y, gradul de utilizare al secțiunii obținut prin modelarea cu EF cu 14 GL este similară cu cea obținută prin modelarea cu EF cu 12 GL. Gradul de utilizare la încovoierea după axa Z, în schimb, este nenul la modelul analizat cu EF cu 14 GL, spre deosebire de cel analizat cu EF cu 12 GL unde gradul de utilizare la acest tip de încovoiere era de 0%, ceea ce însemna că valoarea lui era  $M_{z,Ed}=0$  kNm. La modelul cu EF cu 14 GL, valoarea momentului încovoietor după axa Z era de  $M_{z,Ed}=0,96$  kNm, ceea ce înseamnă că EF cu 14 GL au surprins efectul de încovoiere oblică din analiza de ordinul II, reprezentând o diferență de 16,5% în utilizare. De asemenea, la mijlocul deschiderii modelul cu EF cu 14 GL a surprins un efect de torsiune reprezentat printr-un grad de utilizare de 12,5%, valoare dată de apariția bimomentului care este uniform distribuit pe grindă și are valoare de  $B=0,02$  kNm<sup>2</sup> la mijlocul deschiderii.

Tabelul 2: Gradul de utilizare al grinzii UPE 120 în modelul cu EF cu 14 GL.

Secțiune	Tipul solicitării	Gradul de utilizare al grinzii
Deschidere	Interacțiune forță axială-încovoiere	74%
	Moment încovoietor după axa Y	44,8%
	Moment încovoietor după axa Z	16,5%
	Efect de torsiune (Bimoment)	12,5%
Reazem 1	Torsiune	72,6%
	Forță tăietoare după axa Z	7,8%
	Interacțiune forță axială-încovoiere	76,8%
Reazem 2	Torsiune	72,8%
	Forță tăietoare după axa Z	7,8%
	Interacțiune forță axială-încovoiere	69,3%

Spre deosebire de modelul cu EF cu 12 GL, programul de analiză structurală care utilizează EF cu 14 GL a calculat și rezistența la torsiune în secțiunea de reazem, așa cum se observă în Tabelul 2. Gradul de solicitare la torsiune rezultat în urma verificărilor făcute modelului cu EF cu 14 GL este de 72,8%, o valoare care influențează semnificativ dimensionarea secțiunilor nesimetrice.

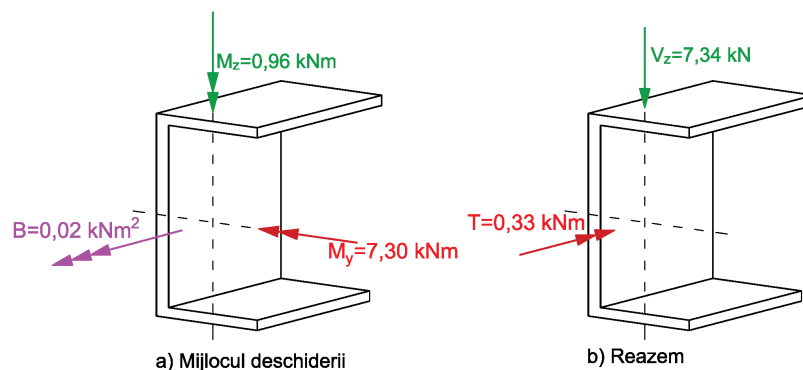


Figura 4: Eforturile interioare de la mijlocul deschiderii și, respectiv din reazem în modelul cu EF cu 14 GL.

În Tabelul 3 sunt evidențiate diferențele dintre modelarea cu EF cu 12 GL și, respectiv modelarea cu EF cu 14 GL. Pe lângă diferențele legate de rezistența la încovoiere după axa Z (în secțiunea de la mijlocul deschiderii) și, respectiv la efectele de torsiune (în secțiunea de reazem și, respectiv la mijlocul deschiderii), există și diferențe legate de interacțiunea forță axială-încovoiere. În cazul modelului la care s-au utilizat EF cu 14 GL, gradul de utilizare în cazul interacțiunii forță axială-încovoiere este 74% la mijlocul deschiderii, deoarece acolo apar, pe lângă momentul încovoietor după axa Y, momentul încovoietor după axa Z și bimomentul din efectul de torsiune. În cazul secțiunilor de reazem, gradul de utilizare în cazul interacțiunii forță axială-încovoiere (rezistența globală) are următoarele valori: (i) într-un reazem gradul de utilizare este de 76,8% și (ii) în celălalt reazem gradul de utilizare este de 69,3%. Diferența de valori dintre cele două reazeme este dată de valorile diferite ale tensiunilor din torsiune. De asemenea, tensiunile din torsiune sunt cele care influențează pozițiile secțiunilor critice ale grinzii analizate.

La nivel de stabilitate globală, gradul maxim de utilizare al secțiunii analizate este de

114,2%, iar programul care utilizează în analiză EF cu 14 GL avertizează utilizatorul că secțiunea transversală nu este adecvată conform normativului EN 1993-1-1. Gradului de utilizare al secțiunii grinzii UPE 120 se datorează apariției momentului încovoietor după axa Z și a bimomentului în secțiunea de la mijlocul deschiderii. Utilizarea maximă a secțiunii grinzii mai este dată și de fenomenul de pierdere a stabilității laterale prin încovoiere-torsiune, fenomen pe care modelul cu EF cu 12 GL nu a reușit să-l surprindă în analiză. EF cu 14 GL în schimb surprind modurile globale de flambaj: flambaj prin încovoiere, flambaj prin răsucire, sau interacțiunea dintre acestea. Astfel stabilitatea globală a modelului cu EF cu 14 GL a fost posibilă aplicând formula 6.3.4 (4) b) din EN 1993-1-1.

Tabelul 3: Diferențele dintre modelarea cu EF cu 12 GL și, respectiv cu EF cu 14 GL.

Secțiune	Tipul solicitării	Gradul de utilizare		Diagramă efort EF 14 GL
		EF cu 12 GL	EF cu 14 GL	
Reazem	Efect de torsiune	N/A	72,8%	
	Forță tăietoare	8,7%	7,8%	
	Interacțiune forță axială-încovoiere	N/A	76,8%	—
	Stabilitatea globală	N/A	7,8%	—
Deschidere	Interacțiune forță axială-încovoiere	44,4%	74%	—
	Moment încovoietor după axa Y	44,4%	44,8%	
	Moment încovoietor după axa Z	0%	16,5%	
	Efect de torsiune	N/A	12,5% (apare bimomentul)	
	Stabilitatea globală	N/A	114,2%	—



## 5. Concluzii

În această lucrare a fost prezentat modul în care EF cu 14 GL influențează rezultatele analizei în cazul secțiunilor transversale nesimetrice încărcate în plan vertical. Așa cum s-a observat din exemplele numerice prezentate, în cazul secțiunilor nesimetrice se produce efectul de torsiune prin apariția tensiunilor din torsiune liberă, din torsiune împiedicată și, respectiv din bimoment. De asemenea, apar solicitări de încovoiere atât în planul încărcărilor, cât și în afara planului acesteia. Implicațiile mecanice ale efectului de torsiune și de pierdere a stabilității laterale nu sunt surprinse cu precizie în analiza cu EF cu 12 GL, astfel că utilizatorul programului care modelează cu EF cu 12 GL este pus în dificultate la analiza flambajului lateral și a flambajului prin răsucire. Tot din cauza efectelor de torsiune, în modelul cu EF cu 14 GL, gradul de utilizare în cazul rezistenței globale (interacțiune forță axială-încovoiere) este mai mare în secțiunile de reazem (76,8%) decât la mijlocul deschiderii (74%), astfel că poziția secțiunii critice diferă între modelul cu EF cu 12 GL (secțiunea critică este la mijlocul deschiderii) și modelul cu EF cu 14 GL (secțiunea critică este în reazem). De asemenea, EF cu 12 GL nu surprind efectele încovoierii oblice în analiza de ordinul II. Astfel, din punct de vedere al comportamentului mecanic, în cazul secțiunilor transversale nesimetrice, EF cu 12 GL pot produce rezultate doar parțial corecte care pot induce cu ușurință în eroare utilizatorul.

Profilul UPE studiat, supus la încărcare în plan vertical, prezintă fenomene de pierdere a stabilității globale, efecte surprinse cu succes de modelul cu EF având 7 GL nodale, în care pot fi observate efectele torsiunii pe toată lungimea barei, în special la mijlocul deschiderii și în reazeme. În mod contrar, aceste efecte nu pot fi observate în cazul modelului cu EF având 6 GL nodale, care poate duce la atragerea în capcană a utilizatorului. Așa cum se poate constata pe un exemplu la prima vedere extrem de banal, rezultatele analizei cu EF având 12 GL dau impresia unei rezerve confortabile de rezistență, însă în termeni de stabilitate, elementul analizat este utilizat peste limitele admise. În consecință, performanțele aplicațiilor software utilizate în modelarea structurilor au o influență semnificativă asupra riscurilor neconștientizate, încă din faza de proiectare, care pot avea implicații nedorite asupra rezultatului final. Iar riscurile asumate cumulate cu cele neconștientizate pot avea efecte nefaste. În vederea reducerii acestor riscuri, autorii recomandă atenție sporită la modelarea cu EF cu 12 GL în cazul structurilor cu secțiuni nesimetrice și cele sensibile la efecte de ordinul II, care pot accentua apariția fenomenelor de instabilitate globală.

## Bibliografie

- [1] Papp, F. „14 DOF beam-column element in practical analysis and design of steel structures”
- [2] Ziemian, R. D., Liu, S.W., Chan, S. L. (2018). „System of members with thin-walled nonsymmetric sections – A contribution to the theory and analysis software” Eight International Conference on THIN-WALLED STRUCTURES – ICTWS 2018, Lisbon, Portugal, July 24-27, 2018.
- [3] European Committee for Standardization (2004). Hot rolled products of structural steels – Technical delivery conditions for non-alloy structural steels. EN 10025-2.
- [4] ASRO, Standard român (2005). Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-3: Acțiuni generale – Încărcări date de zăpadă. SR EN 1991-1-3.
- [5] ASRO, Standard român (2004). Eurocod: Bazele proiectării structurilor. SR EN 1990.
- [6] European Committee for Standardization (2005). Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. EN 1993-1-1.