

# **ANALIZA DEFORMAȚILOR PARAPEȚILOR RUTIERI SUPUȘI ȘOCULUI MECANIC STANDARD, PRIN MODELARE NUMERICĂ CU ELEMENTE FINITE**

Dumitrache Petru, conferențiar doctor inginer,  
Facultatea de Inginerie Brăila, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați  
Bâtea Constantin, inginer doctorand  
Facultatea de Inginerie, Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

In accordance with Verona Declaration, the huge amount of human victims on the roads is too high a price and that, the situation being such, the eradication of this scourge is a top priority. In this context, in addition to other regulations, high strength road safety systems is imperious required.

The paper presents, briefly, some aspects of the numerical evaluation for road safety systems deformations, subjected to standard shock loading, using finite element method.

In first section of the paper, general context of the road safety systems is presented. Next, the basis for numerical calculus model and some aspects of the finite element method using for such systems are presented. The last paper section is dedicated to obtained results presentation, their experimental confirmation and to next objectives.

## **1. Preliminarii**

La data de 24 octombrie 2003, a fost dată publicității Declarația de la Verona, în care se apreciază că numărul victimelor umane implicate în accidentele rutiere este atât de mare, încât se impun măsuri ferme și urgente de diminuare semnificativă a fenomenului. În acest context, în amintita declarație, se afirmă că numărul accidentelor rutiere cu victime omenești trebuie să se diminueze cu cca. 50% până la finele anului 2010, în raport cu nivelul înregistrat în 2003. Atingerea acestui obiectiv se poate face adoptând o serie de măsuri, printre care, un loc important îl ocupă realizarea unor parapete rutieri cu performanțe ridicate în ceea ce privește capacitatea acestora de a reține pe carosabil un vehicul având o anumită masă și o anumită viteză în momentul impactului.

Găsirea unor soluții performante pentru parapete rutieri este posibilă doar după un studiu prealabil al soluțiilor existente. Acest studiu urmărește comportarea parapetului rutier supus unui șoc mecanic având caracteristici în conformitate cu prevederile documentației de referință în vigoare.

Evaluarea experimentală a unor astfel de structuri de rezistență este, evident, o cale sigură pentru stabilirea comportamentului real al acestora. Totuși, având în vedere că mărimile obiectiv ale experimentului (deformații, tensiuni, caracteristicile fenomenelor ondulatorii ce se produc în timpul și după producerea șocului, durata șocului, etc.) au loc la viteze mari, în durate de timp mici, de ordinul sutimilor de secundă, aparatura experimentală necesară „capturării” acestor mărimi este, de cele mai multe ori, costisitoare, iar erorile de măsurare sunt greu de controlat. Prin urmare, costul unor astfel de experimente este suficient de ridicat, încât acestea să fie, de multe ori, evitate.

În contextul evoluției actuale a performanțelor sistemelor de calcul, a devenit perfect posibilă modelarea și analiza numerică a comportării unor astfel de structuri, supuse solicitărilor cu șoc. La ora

actuală, cea mai folosită metodă de analiză numerică a tuturor problemelor continuumului material, deci și a problemelor de mecanica structurilor, din care face parte clasa de probleme descrisă anterior, este analiza cu elemente finite.

În ceea ce privește documentația de referință la nivel european, pe baza căreia se atestă conformitatea unui sistem de protecție rutieră și, totodată, pe baza căreia trebuie stabilite condițiile de modelare, de rezervare și de încărcare în analiza numerică a unor astfel de structuri, este reprezentată, în principal, prin standardul EN 1317:1998, standard ce conține următoarele părți:

- EN 1317-1:1998 - Terminology and general criteria for test methods;
- EN 1317-2:1998 - Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers;
- EN 1317-3:1998 - Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for crash cushions;
- EN 1317-4:1998 - Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers;
- EN 1317-5:1998 - Product requirements, durability and evaluation of conformity.

Corespondentul românesc al standardului EN 1317:1998 este standardul SR EN 1317:2000.

## 2. Principii de modelare

Pentru ca rezultatele evaluării numerice a comportării parapetilor rutieri supuși șocurilor mecanice cu caracteristici reglementate să prezinte un grad ridicat de încredere, este necesar, ca în faza de modelare a problemei să se țină seama de o serie de aspecte dintre care, cele mai importante sunt următoarele:

- Caracteristicile reglementate ale șocului mecanic aplicat parapetului rutier. Acestea sunt conținute în standardul EN 1317-2. În acest standard se precizează locul de aplicare a șocului (la jumătatea deschiderii parapetului), unghiul sub care se aplică șocul, precum și nivelul energetic de impact, prin indicarea masei autovehiculului și a vitezei acestuia în momentul contactului cu parapetul rutier. În tab. 1 sunt sintetizate elementele de caracterizare a nivelului de performanță impus parapetilor rutieri, în conformitate cu prevederile din standardul SR EN 1317-2:2000.

**Tab. 1** – Elemente de caracterizare a nivelului de performanță impus parapetilor rutieri

Nivel de protecție		Încercare	Masa totală a vehiculului	Viteză de impact	Unghi de impact
			kg	km/h	°
Protecție la unghi de impact mic	T1	TB21	1300	80	8
	T2	TB22	1300	80	15
	T3	TB21	1300	80	8
TB41		10000	70	8	
Protecție normală	N1	TB31	1500	80	20
		TB32	1500	110	20
	N2	TB11	900	100	20
Protecție ridicată	H1	TB42	10000	70	15
		TB11	900	100	20
	H2	TB51	13000	70	20
		TB11	900	100	20
	H3	TB61	16000	80	20
		TB11	900	100	20
Protecție foarte ridicată	H4a	TB71	30000	65	20
		TB11	900	100	20
	H4b	TB81	38000	65	20
		TB11	900	100	20

- Consecințele nivelului energetic al șocului mecanic impus parapetilor rutieri. După cum se observă din analiza datelor conținute în tab. 1, energia de impact a șocului mecanic la care trebuie să reziste un parapet rutier, chiar în cazul asigurării protecției la unghi de impact mic, este suficient de mare, încât să se producă depășirea limitei de curgere a materialului din care se realizează elementul ondulat W al parapetului rutier. Prin urmare, în zona de impact deformațiile vor avea caracter plastic, după producerea șocului înregistrându-se o deformație remanentă, și o anumită revenire elastică a parapetului.

În conformitate cu aspectele discutate anterior, la modelarea problemei privind studiul numeric al comportării parapetilor rutieri supuși unui șoc mecanic reglementat, se vor respecta următoarele recomandări:

- Schematizarea încercării. Constituie baza modelării numerice. Având în vedere că, în general, partea din energia de impact disipată prin frecarea la nivelul suprafețelor de contact dintre vehicul și elementul W al parapetului este mult mai mică decât întreaga energie de impact, în modelarea numerică a problemei nu este cazul să se țină seama de frecarea amintită. Oricum, neglijaarea frecării asigură studiul comportamentului parapetului într-un caz mai defavorabil decât în realitate. Un alt aspect legat de schematizarea încercării este acela legat de aplicarea șocului. Din punctul de vedere al rezultatelor obținute, în condițiile neglijaării frecării, șocul mecanic produs la un anumit unghi de impact, poate fi simulat printr-un impact frontal, masa vehiculului fiind egală cu masa reglementată, însă viteza la care are loc contactul dintre vehicul și parapet este diminuată corespunzător (vezi fig. 1).

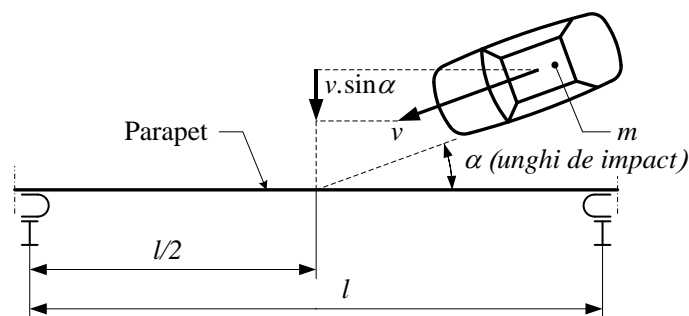


Fig. 1 – Baza modelării numerice a comportării parapetului rutier

- Schematizarea comportării materialului din care este realizat elementul W al parapetului. Având în vedere depășirea limitei de curgere a materialului din care este realizat elementul W al parapetului, în timpul solicitării produse de șocul mecanic aplicat, se impune adoptarea unui model de material corespunzător (Prandtl sau biliniar). În general, pentru o primă evaluare a comportării parapetului, modelul biliniar asigură o precizie bună a rezultatelor obținute prin modelare numerică. Totodată, la elaborarea modelului cu elemente finite, în faza de modelare a comportării materialului se va avea în vedere tipul de ecrusare a acestuia (ecrusare izotropică, ecrusare cinematică, etc.). Având în vedere materialele din care se realizează elementele W ale parapetilor, se recomandă adoptarea modelului de ecrusare izotropică. Evident, toate aceste considerații sunt valabile în cazul realizării din oțeluri tenace a elementelor W ale parapetilor rutieri. În cazul luării în considerare și a altor materiale, se vor avea în vedere caracteristicile de catalog ale acestora, sau, la limită, se vor studia experimental în laborator, iar comportarea acestora va fi introdusă în mediul de analiză cu elemente finite sub formă de date tabelare.
- Rețeaua de discretizare cu elemente finite a modelului geometric al parapetului. Se recomandă folosirea unor rețele de discretizare cu densitate mărită în zonele în care se produc solicitările maxime. De asemenea, pentru modelarea corpului de impact (în care, de regulă, nu interesează mărimea tensiunilor produse la impact), se recomandă folosirea elementelor finite cinematice.
- Timul avut în vedere la analiza impactului. În general, intervalul de timp avut în vedere la analiza numerică a impactului trebuie să asigure „capturarea” cu suficientă acuratețe a tuturor mărimilor obiectiv urmărite. Acesta trebuie să fie cel puțin egal cu durata primului impact. Stu-

diul efectelor produse de șocurile ulterioare poate fi, uneori, necesar, însă trebuie avut în vedere că mărirea timpului avut în vedere la analiză duce la mărirea exagerată a timpului în care are loc analiza.

### 3. Studiu de caz

Parapetul avut în vedere în cadrul studiului de caz, precum și schema de calcul, respectă baza modelării numerice prezentată în fig. 1, în care prin  $l$  s-a notat deschiderea parapetului. Modelul geometric al parapetului a fost realizat într-un mediu de modelare geometrică parametrică și importat în mediul de analiză cu elemente finite, după conversia ansamblului într-un format grafic acceptat.

Pentru modelarea cu elemente finite, rezolvarea modelului și analiza rezultatelor obținute a fost folosit modulul FEMPRO al pachetului software ALGOR.

În modelarea geometrică și cu elemente finite a problemei formulată prin impunerea studiului de caz s-au respectat următoarele date și caracteristici de modelare:

- Obiectivul analizei cu elemente finite: studiul comportamentului la șocul mecanic standard a parapetului rutier ce trebuie să asigure protecție normală, nivel N2, conform încercării TB11 (vezi tab. 1). Dintre rezultatele analizei o importanță deosebită s-a acordat determinării deformației remanente a parapetului, deoarece aceasta a fost comparată cu deformația similară, evaluată experimental în cadrul ICECON SA.
- Lungimea deschiderii parapetului:  $l = 3\text{ m}$ .
- Discretizarea modelului geometric al parapetului s-a făcut cu elemente finite tridimensionale. Corpul de impact a fost modelat cu elemente finite tridimensionale cinematice. În fig. 2 este prezentat modelul cu elemente finite a parapetului și a corpului de impact, plasat într-o poziție premergătoare impactului. Se observă că în zona de impact a fost mărită densitatea rețelei de discretizare, în scopul asigurării acurateții rezultatelor obținute.

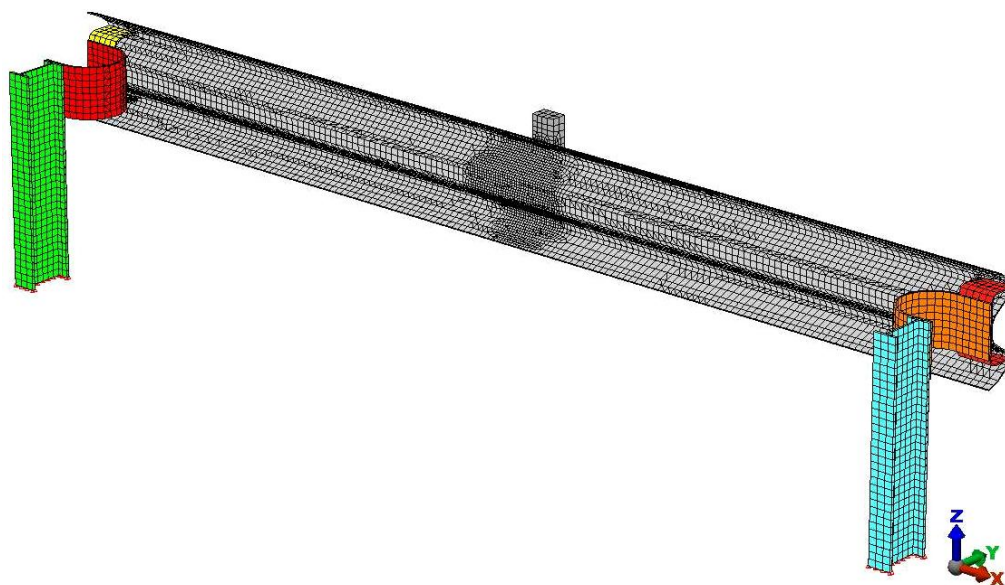


Fig. 2 – Modelul cu elemente finite al parapetului

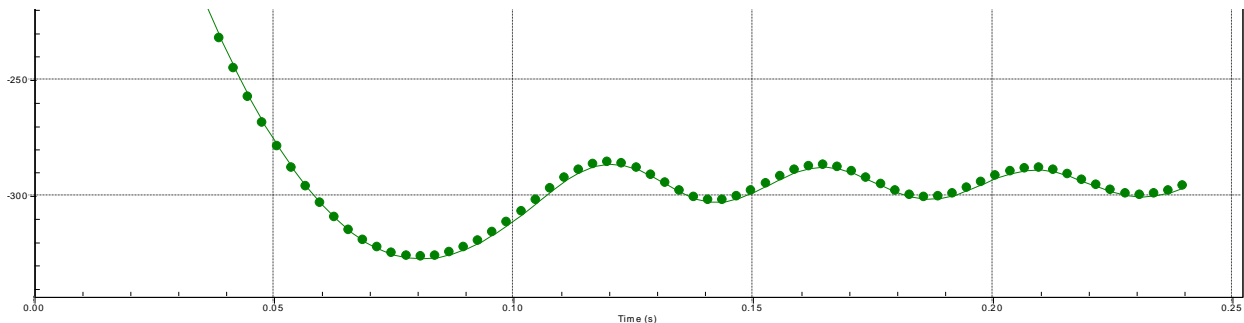
- Materialul atribuit elementelor finite din rețeaua de discretizare a parapetului a fost un oțel cu următoarele caracteristici fizico-mecanice:  $\rho = 7854,8\text{ kg/m}^3$ ,  $E = 1,9995 \cdot 10^5\text{ N/mm}^2$ ,  $E_p = 663,057\text{ N/mm}^2$ ,  $\mu = 0,29$ ,  $\sigma_c = 248,21\text{ N/mm}^2$ . Pentru materialul atribuit elementelor finite ale corpului de impact s-a adoptat o densitate corespunzătoare asigurării masei  $m$ , impusă prin standard, neafectându-se precizia rezultatelor obținute, fiind vorba de elementele finite cinematice.
- Pentru corpul de impact s-a impus o viteză egală cu viteza redusă necesară asigurării în momentul contactului frontal a energiei de impact impusă prin standard ( $v_{red} = v \cdot \sin \alpha$ ; vezi fig. 1).

- Intervalul de timp avut în vedere la analiză:  $\Delta t = 0,24 s$ .
- Pasul de timp al analizei:  $t_{inc} = 0,003 s$ , corespunzând la 80 de timpi intermediari la care s-au obținut rezultatele analizei.

Modelul a conținut un număr total de 32122 de elemente finite, iar durata analizei a fost de 8 ore, 22 minute și 48 secunde. Durata mare a analizei s-a datorat folosirii drept criteriu de convergență al procesului iterativ de calcul din faza de rezolvare a modelului numeric, criteriul asigurării preciziei maxime permise în FEMPRO a deplasărilor. Adoptarea acestei strategii a fost impusă de necesitatea validării deformației calculate folosind rezultatele experimentale.

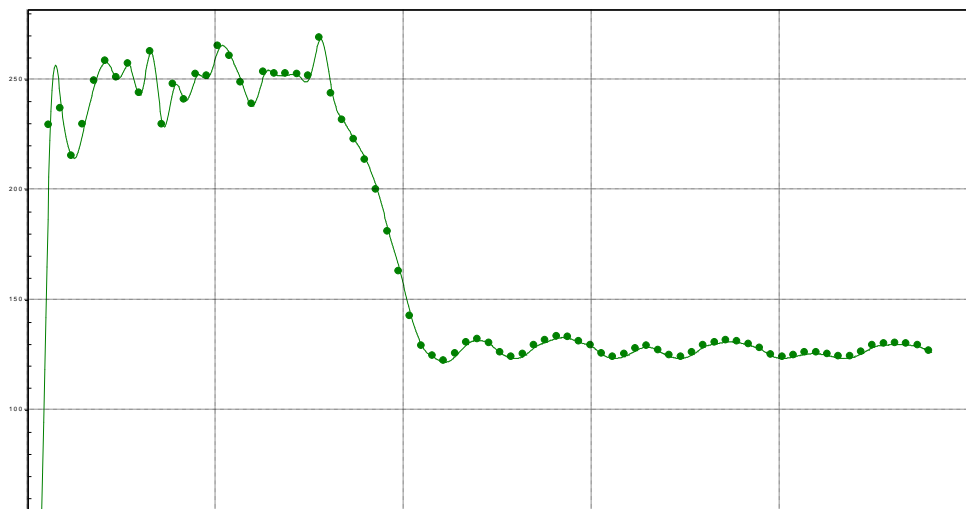
În continuare prezentăm, pe scurt, rezultatele obținute:

- Durata impactului (timpul scurs între momentul primului contact și momentul desprinderii corpului de impact de elementul W al parapetului):  $t_{impact} \cong 0,075 s$ .
- În fig. 3 este prezentată evoluția în timp a deplasării în direcția de șocului a unui nod din planul vertical de simetrie al parapetului. În urma analizei cu elemente finite s-a determinat o deplasare maximă  $d_{max} \cong 361 mm$ . După revenirea elastică a materialului, deplasarea maximă remanentă în dreptul aceluiași nod a fost  $d_{rem\_max} \cong 304 mm$ .



**Fig. 3** – Evoluția în timp a deplasării în zona mediană a parapetului

- În fig. 4 este prezentată evoluția în timp a tensiunii echivalente maxime în dreptul locului de producere a deformației maxime. Analiza a confirmat depășirea limitei de curgere a materialului, obținându-se  $\sigma_{vonMises\_max} \cong 270 N/mm^2$ . Se precizează că adoptarea teoriei a V-a de rezistență este justificată de natura materialului adoptat pentru elementele componente ale parapetului.



**Fig. 4** – Evoluția în timp a tensiunii echivalente maxime produsă în elementul W al parapetului

- În fig. 5 este prezentată forma deformată a parapetului după revenirea elastică, în care se observă valoarea deformației maxime remanente găsită prin analiza cu elemente finite.

De observat oscilațiile amortizate ale structurii parapetului care se produc după impact, oscilații ce caracterizează evoluția post-impact atât a tensiunilor, cât și a deformațiilor.

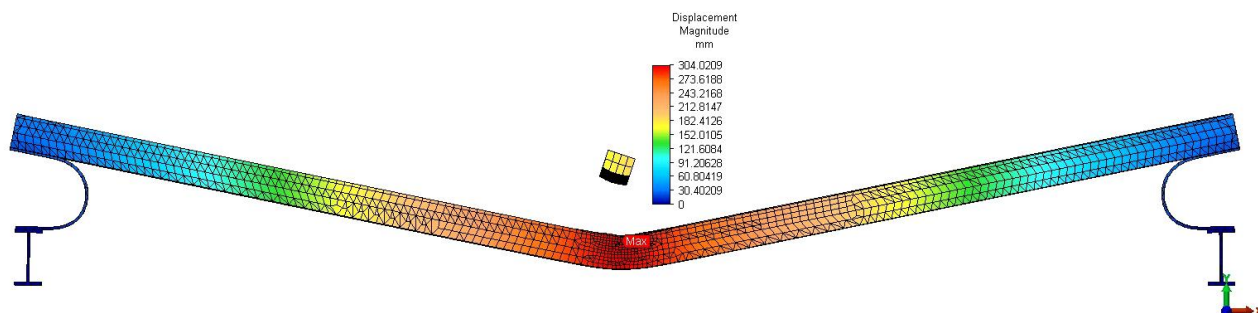


Fig. 5 – Forma deformată a parapetului

Precizăm că deformația remanentă obținută prin analiza cu elemente finite a fost confirmată de evaluarea experimentală a aceleiași mărimi, valoarea calculată fiind cu cca. 4% mai mare decât valoarea măsurată.

#### 4. Concluzii

Fără îndoială, analiza cu elemente finite a devenit un instrument curent în studiul oricăror probleme ale continuumului material. Pe lângă rezultate mai apropiate de realitate decât rezultatele obținute prin metodele clasice de calcul, analiza cu elemente finite poate produce și importante reduceri de costuri prin eliminarea parțială a evaluărilor experimentale, mai ales în cazul structurilor caracterizate de o mare complexitate geometrică. Totodată, metoda elementelor finite permite abordarea mai multor cazuri de încărcare pentru aceeași structură, facilitând în acest fel luarea unor decizii corecte în ceea ce privește optimizarea structurilor supuse analizei.

Studiul de caz prezentat se constituie într-o abordare capabilă de a furniza rezultate veridice privind comportarea parapetelor rutieră supuși șocului mecanic standard, rezultate pe baza cărora se pot dezvolta noi soluții pentru sistemele de protecție rutieră de tip parapet.

Dezvoltările viitoare pentru sistemele de protecție rutieră de tip parapet se vor face acționând, în principal, pe următoarele direcții:

- mărirea capacității de rezistență a parapetelor rutieră, prin folosirea unor materiale cu caracteristici mecanice superioare oțelurilor folosite în prezent;
- folosirea altor soluții de rezemare a elementului W, soluții care să asigure deformații mari ale sistemului, capabile să disipeze energii mari de impact;
- dezvoltarea unor sisteme inteligente de protecție de tip parapet rutier, folosind materiale cu proprietăți reologice speciale.

#### Bibliografie

- [1] Dumitrache P. - *Modelarea structurilor de rezistență cu ajutorul metodei elementelor finite*, Editura Impuls, București, 2003;
- [2] Dumitrache P. – *Considerații privind precizia rezultatelor obținute la analiza stărilor de tensiune și de deformația cu metoda elementelor finite* – Conferința Națională cu participare internațională, *Cercetarea în condițiile integrării europene*, Brăila, 28-29 mai 2004;
- [3] Bratu P. - *Rigidity and damping dynamic characteristics in case of composite neoprene systems due to passive vibrations isolation*, Proceedings of SISOM, pp.46-49, Bucharest, 17-19 May 2006;
- [4] \*\*\* - *ALGOR. User Manual*.