A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

MODELAREA REŢINERII PASAGERULUI DE CĂTRE CENTURA DE SIGURANŢĂ

Adrian TODORUŢ, István BARABÁS, Nicolae CORDOȘ

THE PASSENGER HOLDING MODELATION BY THE SEATBELT

The paper presents a physical model of a passenger hold by the seatbelt. Based on this model one calculates the total movement of the passenger during the accident, the passenger's movement at constant speed, his deceleration to maximal and minimal values; the passenger's movement related to time and the safe values of the required displacement of his chest in case of accidents at different collision speed and also the chest movement in the car's habitat in order to be safe in case of accident.

Cuvinte cheie: automobil, pasager, accident rutier, siguranţă pasivă, centura de siguranţă, reţinerea ocupanţilor, modelare
Keywords: vehicle, passenger, traffic accident, passive safety, seat belt, keeping occupants, modeling

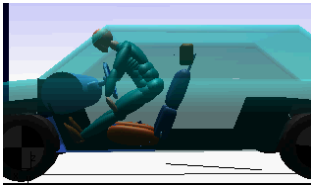
1. Introducere

Pe plan naţional, european şi mondial se acordă o atenţie deosebită siguranţei circulaţiei rutiere, urmărindu-se dezvoltarea optimă a sistemelor de prevenire şi diminuare a accidentelor.

Centura de siguranţă face parte din structura sistemelor pasive de siguranţă a pasagerilor şi a cunoscut o tot mai mare dezvoltare în ultimul timp. Centura de siguranţă, asigură reţinerea ocupanţilor în scaune, astfel încât aceştia să nu lovească diferitele obstacole din habitaclu sau să nu fie aruncaţi în afara automobilului; asigură o

reducere a forţelor şi acceleraţiilor care acţionează asupra ocupanţilor datorită alungirii centurii în timpul impactului.

Prin introducerea modelelor fizice şi matematice în studiul reţinerii ocupanţilor automobilelor, se caută să se reducă pagubele materiale şi cele umane datorate accidentelor de circulaţie rutieră, prin îmbunătăţirea sistemelor de protejare a vieţii umane. Aceste programe permit reducerea costurilor de testare reală a unor echipamente, ele oferind o imagine de ansamblu a unor cazuri virtuale de impact (figura 1). Modelarea reţinerii oferită de centurile de siguranţă oferă informaţii relevante asupra comportării pasagerilor în caz de accident.



a)

b)

Fig. 1 Modele virtuale de impact. a) - ocupant nereţinut de centura de siguranţă a automobilului; b) - ocupant reţinut de centura de siguranţă a automobilului

2. Modelul reţinerii pasagerului

Modelul fizic al unui dummy (manechin folosit la testele de impact) bidimensional reţinut de centura de siguranţă, se prezintă în figura 2 [3]. Centura de siguranţă este conectată rigid de corpul b_1 (figura 2). Actuatorul b_2 al centurii poate translata doar pe direcţia z faţă de corpul b_1. Capul (b_4) este legat de torace (b_3) prin gâtul dummy-ului, astfel încât singurul grad de libertate pe care îl are este rotirea β în jurul axei y. Un capăt al centurii este conectat de actuatorul b_2, reţinând toracele (b_3) dummy-ului, iar celălalt capăt este prins în b_1. Centurii i se aplică forţa F de către actuatorul b_2. Pentru a se folosi mărimi adecvate, se utilizează date aferente dummy-ului HIBRID III [1, 3, 5].

Deplasarea orizontală a centrului de greutate a corpului b_3 se ia ca şi măsură pentru deplasarea necesară a pieptului. Pentru o deceleraţie maximă a pieptului de aproximativ 35·g, forţa maximă forţa aplicată centurii este de circa 6 kN. Pentru t = 0 ms şi până la t = 35 ms, acceleraţia presupusă a pieptului nu este precisă, ea fluctuând în limite mai mari decât cea adevărată. Acest lucru se poate explica asemănător fenomenului de compresie din toracele dummy-ului. Pentru t>35 ms acceleraţia pieptului corespunde cu cea reală [3]. Riscul vătămării

pieptului este dominant influenţat de forţa aplicată centurii. Riscul rănirii la cap este influenţat de elasticitatea centurii, viteza de impact şi/sau folosirea unui sistem de reţinere suplimentar cu airbag.

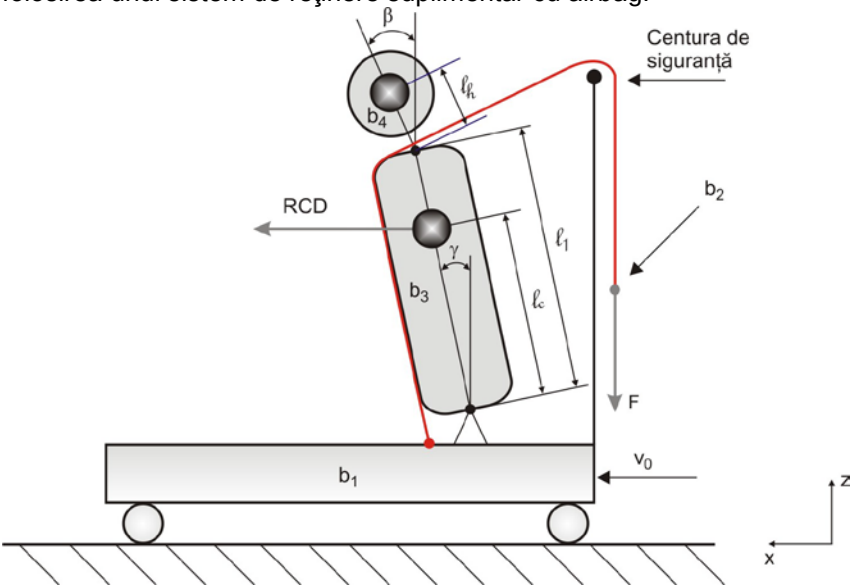


Fig. 2 Modelul fizic a unui dummy reţinut de o centură de siguranţă.
b_1 - prinderea de jos a centurii; b_2 - actuatorul centurii; b_3 - toracele dummy-ului; b_4 - capul dummy-ului; l_1 - lungimea toracelui; l_c - locaţia centrului de greutate a toracelui raportat la pelvis; l_h - locaţia centrului de greutate a capului faţă de baza gâtului; RCD (Required Chest Displacement) - deplasarea totală (necesară) a pieptului; v_0 - viteza automobilului; γ - rotaţia pieptului în jurul axei y; β - rotaţia capului în jurul axei y; F - forţa aplicată centurii de actuatorul b_2

Deplasarea totală a pasagerului (δ_p) poate fi stabilită în modelul ideal (figura 3) [1] prin descrierea performanţelor sistemului de reţinere în funcţie de caracteristicile acestuia.

Deplasarea totală a pasagerului reprezintă suma distanţelor parcurse de acesta, între prima faza de începere a deplasării (când viteza este constantă) şi faza acceleraţiei constante [1]:

$$\delta_p \cong v_0 \cdot \left(t_e + \frac{a_{pmax}}{\alpha_p} \right) + \frac{1}{2 \cdot a_{pmax}} \cdot \left(v_0 - \frac{a_{pmax}^2}{\alpha_p} \right)^2 - \frac{a_{pmax}^3}{2 \cdot \alpha_p^2}, \text{ [m]}, \quad (1)$$

sau

$$\delta_p \cong v_0 \cdot \left(t_e + \frac{v_0}{2 \cdot a_{pmax}} \right), \text{[m]}, \qquad (2)$$

în care: t_e este momentul de începere a deplasării pasagerului ($\cong$0,035 s), corespunzător întârzierilor până la activarea forţei din centură ($t_e \cong t_{OA}$); v_0 - viteza automobilului, în m/s ($v_0 = v_A$); a_{pmax} - deceleraţia maximă a pieptului pasagerului, în funcţie de g (acceleraţia gravitaţională); la baza prevenirii vătămării toracelui, criteriul vătămării general acceptat este sugerat ca o valoare limită a acceleraţiei pieptului egală cu 60·g (pe durata a 3 ms) şi deflecţia pieptului de 0,075 m [1, 3]; α_p - rata de creştere a deceleraţiei ($\cong$ 1000 g/s) (figura 3).

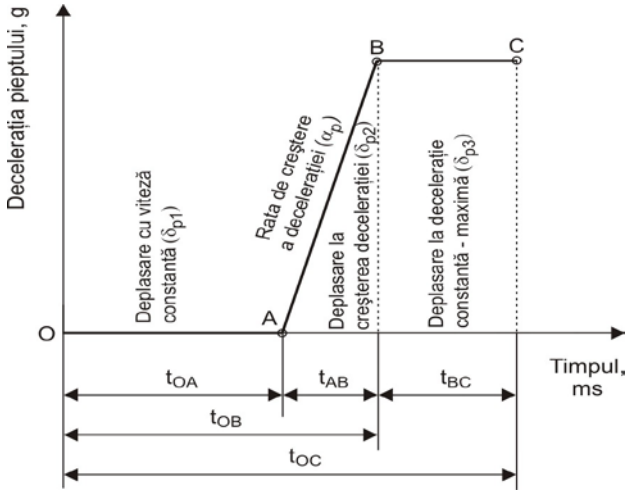


Fig. 3 Timpii de decelerare ai pieptului în modelul ideal

Ţinând seama de fazele mişcării pasagerului în timpul reţinerii (figura 3), deplasarea acestuia poate fi exprimată astfel [1]:

– la viteză constantă,corespunzătoare duratei t_{OA},

$$\delta_{p1} = t_{OA} \cdot \frac{v_0 + v_A}{2} = t_{OA} \cdot v_0 \text{, [m]}; \qquad (3)$$

– la creşterea constantă a deceleraţiei până la valoarea maximă, corespunzătoare duratei: $t_{AB} = t_{OB} - t_{OA} = a_p / \alpha_p$,

$$\delta_{p2} = t_{AB} \cdot \frac{v_A + v_B}{2} \text{ sau } \delta_{p2} = \frac{a_p}{\alpha_p} \cdot \left(v_A - \frac{a_p^2}{2 \cdot \alpha_p} \right), \text{[m]}, \qquad (4)$$

– la deceleraţie constantă, corespunzătoare duratei:

$$t_{BC} = t_{OC} - t_{OB} = v_B / a_{pmax},$$

$$\delta_{p3} = t_{BC} \cdot \frac{v_B + v_C}{2} \text{ sau } \delta_{p3} = \frac{1}{2 \cdot a_{pmax}} \cdot \left(v_0 - \frac{a_{pmax}^2}{\alpha_p} \right)^2, \text{ [m]}. \quad (5)$$

Vitezele, corespunzătoare punctelor A, B, C din figura 3 sunt date de relaţiile:

$$\begin{cases} v_A = v_0; \\ v_B = v_A - (\alpha_p \cdot t_{AB}) \cdot t_{AB} = v_0 - \alpha_p \cdot t_{AB}^2, \\ v_C = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Interpretarea fizică a deplasării pasagerului în timpul fiecărei faze este prezentată în figura 4 [1].

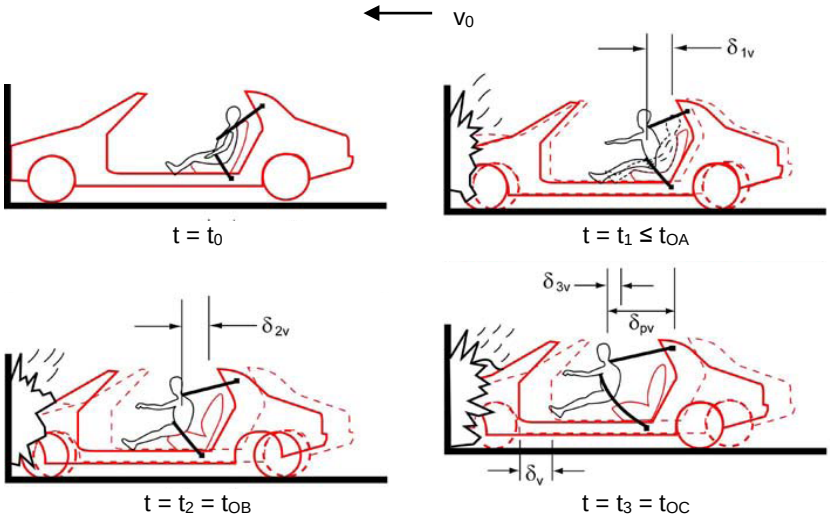


Fig. 4 Deplasarea ocupantului în timpul unui accident rutier

Momentul de început al impactului se consideră t_0 = 0 s (începutul coliziunii, punctul O - figura 3). Timpul de lucru al centurii t_1 = 0,026 s este cel corespunzător primei faze a impactului (faza de zbor liber) şi durează până când centura începe să strângă ocupantul din automobil. În timpul acestei faze ocupantul se mişcă înainte şi este reţinut numai de forţa produsă de frecarea cu scaunul. După această fază, ocupantul din automobil decelerează şi determină sistemul de

reţinere să aplice forţa în centură. De la timpul t_1 ocupantul este reţinut numai de centura de siguranţă, iar de la 0,035-0,04 s [1, 3] airbagul intră în funcţiune, preluând o parte din acceleraţia ocupantului (strângerea oferită de centură poate avea valori uşor mai mici pentru a nu vătăma toracele şi/sau zona abdominală). Perioada de la 0,04 s la 0,85 s reprezintă momentele în care deflecţia pieptului are valorile cele mai îngrijorătoare, chiar dacă forţa în centură este de valoare redusă. În aceste condiţii este indicat ca acceleraţia pieptului să fie absorbită prin reţinerea centurii de siguranţă, iar deflecţia acestuia să fie preluată de sistemul airbag.

Matematic, condiţia de compatibilitate la impact, impune ca: $(\delta_v+\delta_{p/v})>\delta_p$ (figura 4), în care $\delta_{p/v}$ este deplasarea ocupantului cu privire la compartimentul din interiorul automobilului, şi nu trebuie să depăşească distanţa disponibilă (D = 0,457 m) [1] necesară prevenirii *impactului secundar* cu elementele componente din interior ($\delta_{p/v}$<D). În acest sens, rezultă că: $\delta_v>(\delta_p–D)$. Mărimea (δ_p–D) indică distanţa minimă necesară pentru a satisface compatibilitatea dintre caracteristicile structurale şi de reţinere, astfel încât să nu se producă vătămări în cazul unei coliziuni.

La diferite deceleraţii maxime ale pieptului pasagerului (35g/30g/25g), rezultă valori ale forţei maxime de strângere aplicată centurii de siguranţă, de circa 6/5/4 kN. Se constată (figura 5) că la forţe mai reduse de strângere a centurii de siguranţă, este necesară o deplasare totală mai mare a pasagerului, odată cu creşterea vitezei de impact. Variaţia distanţei minime necesare (δ_v) pentru a satisface compatibilitatea dintre caracteristicile structurale şi de reţinere, astfel încât să nu se producă vătămări în cazul unei coliziuni, în funcţie de viteza de impact a automobilului, este prezentată în figura 6.

În figura 6 este surprinsă variaţia deplasării pasagerului (δ_{p1}) în funcţie de timp (intervalul t_{OA}), la diferite viteze de impact. Din figura 7, este evident că un sistem de fixare mai eficient necesită mai puţin timp t_e, reducând astfel distanţa de deplasare a pieptului pasagerului. De exemplu, la un timp t_e de 35 ms, distanţa de deplasare a pieptului pasagerului în această perioadă de timp este de 0,48611 m, 0,58333 m şi 0,68056 m pentru viteze de impact de 50 km/h, 60 km/h şi 70 km/h.

Deplasarea pasagerului la creşterea constantă a deceleraţiei până la valoarea maximă, însumată cu deplasarea pasagerului la deceleraţie constantă, la diferite viteze de impact, este surprinsă grafic în figura 8.

Matematic, se impune ca RCD=$(\delta_v+\delta_{p/v})$ [1].

Aceasta din punct de vedere al compatibilităţii dintre caracteristicile structurale şi de reţinere ale automobilelor. RCD se obține conform relației [1]:

$$RCD = \delta_{p1} + \delta_{p2} + \delta_{p3}, \text{ [m]}. \quad (7)$$

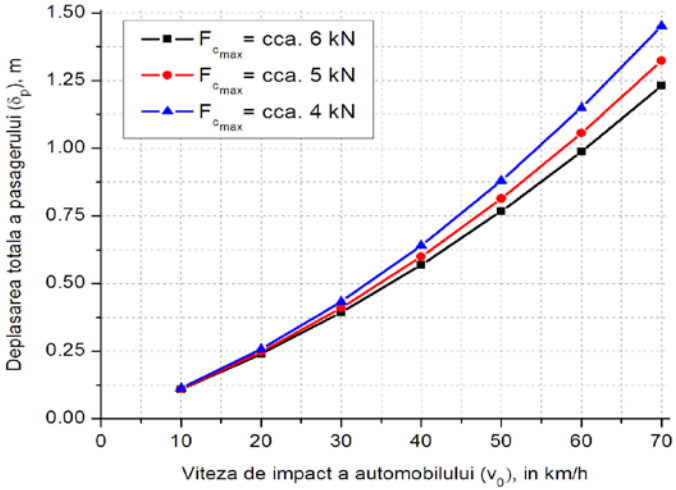


Fig. 5 Deplasarea totală a pasagerului (δ_p) în funcţie de viteza automobilului (v_0), la diferite forţe maxime de strângere ale centurii de siguranţă ($F_{c_{max}}$)

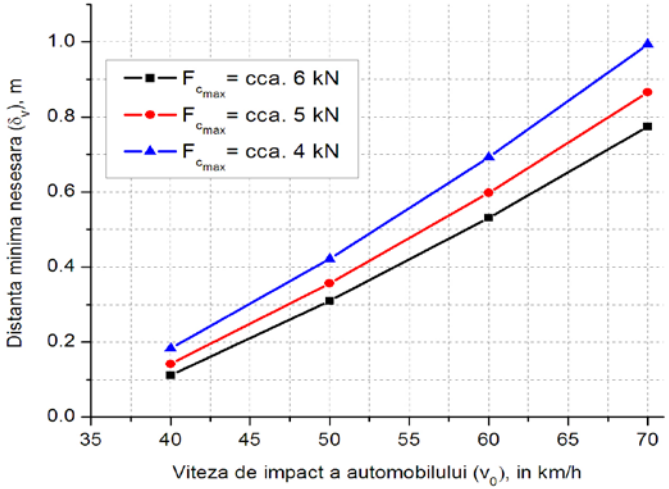


Fig. 6 Distanţa minimă necesară (δ_v) în funcţie de viteza automobilului (v_0), la diferite forţe maxime de strângere ale centurii de siguranţă ($F_{c_{max}}$)

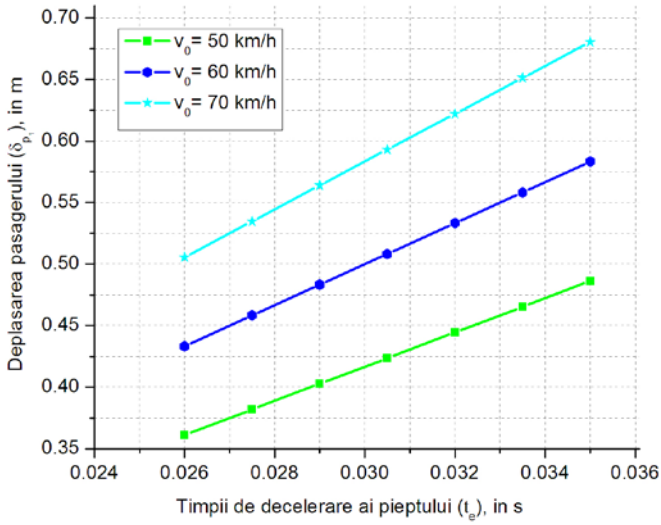


Fig. 7 Deplasarea pasagerului în funcţie de timp, la diferite viteze de impact

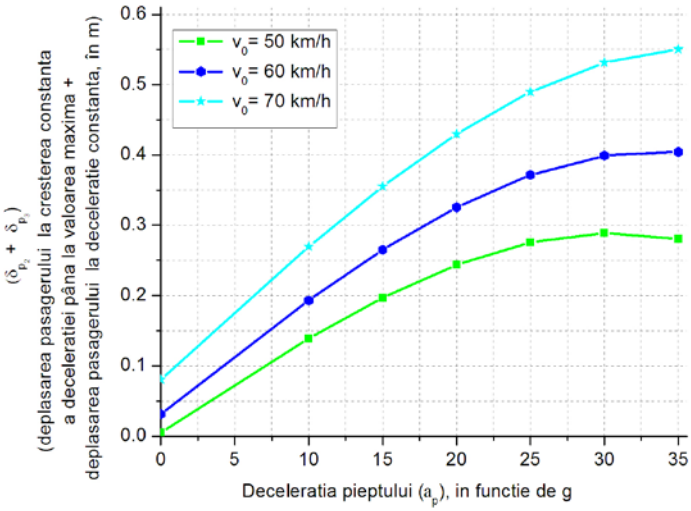


Fig. 8 Deplasarea pasagerului în funcţie de deceleraţia pieptului, la diferite viteze de impact

Deplasarea totală (necesară) a pieptului ocupantului (figura 9) este influenţată atât de creşterea vitezei automobilului, cât şi de creşterea deceleraţiei pieptului. Majoritatea automobilelor sunt dotate

cu airbag, care sunt setate să acţioneze la viteze de impact mai mari de 50 km/h. La viteze mai mici de 50 km/h airbag-ul poate să influenţeze negativ asupra pasagerilor.

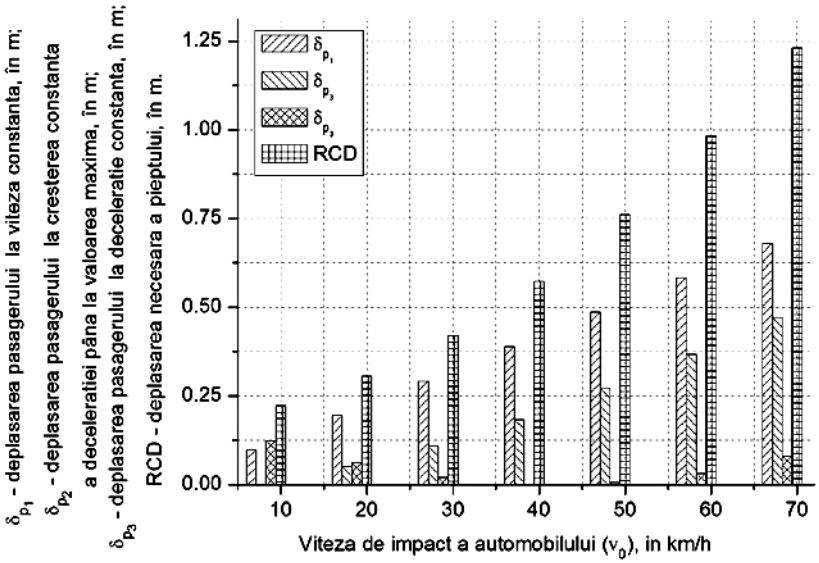


Fig. 9 Variaţia RCD, δ_{p1}, δ_{p2} şi δ_{p3} în funcţie de viteza de impact a automobilului

3. Concluzii

Concluziile ce reies în urma parcurgerii acestei lucrări sunt:

- modelarea reţinerii pasagerului de centura de siguranţă oferă o imagine de ansamblu a ceea ce se întâmplă în realitate, în limitele unor erori foarte reduse;
- o cerinţă fundamentală în proiectare automobilelor este satisfacerea compatibilităţii dintre caracteristicile structurale ale acestora şi cele ale sistemelor de reţinere;
- în cazul unui accident rutier în care automobilul se opreşte foarte repede, pasagerul continuă mişcarea în interiorul habitaclului, cu viteza iniţială, până la impactul cu o suprafaţă interioară (bord, parbriz etc.) sau poate să nu se oprească la contactul cu acestea; forţele generate de contactul pasagerului cu aceste suprafeţe vor reduce viteza acestuia până la zero, iar modificările pe care le va suferi trupul pasagerului depind de

componentele întâlnite şi de capacitatea lor de absorbţie a energiei;

- o parte din distanţa dintre pasager şi bord este parcursă odată cu procesul de reţinere a centurii printr-o mişcare de alunecare reţinere, iar distanţa dintre conducător şi volan este prelungită în cazul coloanei deformabile a volanului; restul distanţei trebuie preluată de desfăşurarea airbagului;
- odată cu creşterea vitezei iniţiale, spaţiul necesar unei reţineri satisfăcătoare a pasagerului creşte ca şi timpul necesar în care aceasta se poate realiza;
- în cazul vitezelor mari, pentru a determina opriri sub limita vătămării este nevoie de spaţiu şi timp mai îndelungat;
- implementarea tehnologiilor de pre-crash conduc la creşterea nivelului de siguranţă, asigurând un nivel sporit de reţinere, chiar dacă viteza iniţială este de valori mai mari.

BIBLIOGRAFIE

[1] Chou, C.C., *Fundamental Principles for Vehicle/Occupant System Analysis.* http://www.autosteel.org/AM/Template.cfm?Section=Safety_Book&TEMPLATE=/CM/ContentDisplay.cfm&CONTENTID=28390.
[2] Cordoş, N., Burnete, N., Todoruţ, A., *Coliziunea automobilelor.* Editura Todesco, Cluj-Napoca, 2003.
[3] Hesseling, R.J., *Active Restraint Sistems - Feedback Control of Occupant Motion.* PhD thesis. Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
[4] Toccalino, E., *Passenger Vehicle Safety Rating (Euro & US-NCAP, IIHS): Performance Overview and Energy Management Solutions*. 2003 SAE World Congress, Detroit, Michigan,March 3-6, 2003. SAE Technical Paper Series 2003-01-0230. http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0046/0901b80380046214.pdf?filepath=automotive/pdfs/noreg/299-50623.pdf&fromPage=GetDoc.
[5] Todoruţ, A., *Dinamica accidentelor de circulaţie.* Editura U.T.PRESS, Cluj-Napoca, 2008.
[6] Zellmer, H., Lührs, S., Brüggemann, K., *Optimized restraint systems for rear seat passengers*. Autoliv GmbH Elmshorn, Germany, Paper Number 98-S1-W-23. http://www.autoliv.com/wps/wcm/connect/d27de6004ce4f27ca190e7f594aebdee/Optimized+restr.pdf?MOD=AJPERES.
[7] ***, *NHTSA VRTC Pedestrian and Applied Biomechanics Division. Adult Crash Test Dummies. Hybrid III 50th Percentile Male.* http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/vrtc/bio/adult/hybIII50dat.htm.

Conf.Dr.Ing. Adrian TODORUŢ, Conf.Dr.Ing. István BARABÁS,
Dr.Ing. Nicolae CORDOȘ, Departamentul ART,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, membri AGIR