

CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA EFICACITĂȚII SISTEMELOR DE SIGURANȚĂ PASIVĂ ASUPRA RISCULUI DE VĂTĂMARE A OCUPANȚILOR LA IMPACT FRONTAL

Autor: Alexandr MALANCIUC
Conducător științific: dr. conf. univ. Ilie MANOLI

Universitatea Tehnică a Moldovei

***Abstract:** În acest articol se examinează complexitatea fenomenelor care au loc în timpul coliziunii vehiculelor, multitudinea factorilor care intervin și fac ca estimarea riscului de vătămare a ocupantului la impact să necesite aplicarea unor metode și tehnici care se bazează pe caracterul dinamic al parametrilor care influențează mecanismele de vătămare.*

***Cuvinte cheie:** autovehicul, accident de circulație, ocupant, vătămare, impact, metodă statistică*

1. Criterii utilizate în analiza riscului de vătămare

Metodele prin care se evaluează riscul de vătămare al ocupantului, în diverse condiții de coliziune, pe baza parametrilor cinematici și dinamici ai autovehiculului și ai dispozitivului antropometric (ATD) se numesc criterii de vătămare. Pentru evaluarea riscului de vătămare a ocupanților la impact se utilizează două tipuri de criterii de evaluare:

- criteriile bazate pe testele de coliziune în care sunt folosite manechine antropometrice (ATD);
- criteriile care au la bază mărimile cinematice ale autovehiculului în timpul impactului.

Criteriile bazate pe ATD, folosesc parametri cinematici și dinamici înregistrați cu aparatura montată pe manechin în timpul testelor de impact repetitive. Estimarea riscului de vătămare se realizează prin compararea valorilor efective astfel determinate, cu valorile limită specifice fiecărui parametru. Aplicabilitatea acestor criterii în evaluarea riscului de vătămare a ocupanților în cazul accidentelor reale nu este posibilă deoarece nu pot fi determinați parametri cinematici și dinamici ai ocupantului în timpul impactului.

Criteriile dezvoltate pe baza parametrilor cinematici și dinamici specifici autovehiculului sunt aplicabile în cazul accidentelor rutiere întrucât aceste mărimi pot fi înregistrate cu ajutorul dispozitivelor de memorare a datelor în caz de accident - EDR (Event Data Recorder), sau pot fi determinate prin reconstituirea accidentului. Evaluarea riscului de vătămare a ocupanților folosind exclusiv aceste criterii este însă limitată deoarece mărimile cinematice și dinamice specifice vehiculului oferă informații doar despre vehicul, nu și despre cinematica ocupantului.

În mod ideal, riscul de vătămare al ocupantului ar trebui să fie evaluat pe baza cinematicii ocupantului și a solicitărilor la care acesta este supus în timpul coliziunii. Una dintre metodele prin care se poate determina cinematica ocupantului într-o astfel de situație este reconstituirea retrospectivă a accidentului și compararea tabloului lezional al victimei cu cinematica autovehiculului. O altă metodă pentru determinarea mărimilor cinematice ale ocupantului la impact este modelarea computerizată a impactului. Prin reconstituirea retrospectivă a accidentului se poate determina parametrul Δv , ca mărime scalară, pe baza deformațiilor remanente ale autovehiculului, fără însă a se putea determina variația vitezei în timp (pulsul accelerației). Cercetările anterioare folosesc deformațiile remanente ca termen de comparație între accidente reale și testele de coliziune, în care poate fi determinat pulsul coliziunii iar pe baza acestuia pot fi calculate criteriile complexe de estimarea a riscului de vătămare.

În aceste condiții, se pune problema îmbunătățirii criteriilor de evaluare a riscului de vătămare bazate pe cinematica autovehiculului considerarea unor parametri specifici cinematicii ocupantului în timpul impactului.

2. Parametri de apreciere a eficienței sistemelor de siguranță pasivă

Deplasările vitezele și accelerațiile măsurate în centrele de greutate ale zonelor corpului uman reprezintă parametrii cinematici care exprimă răspunsul ocupantului la impact. Determinarea acestor parametri, în cadrul testelor de coliziune, cu ajutorul dispozitivelor montate pe manechinul de test permite stabilirea criteriilor de vătămare.

Considerând că răspunsul ocupantului la impact este dependent de severitatea coliziunii și de eficacitatea sistemelor de siguranță pasivă ale autovehiculului s-a efectuat un studiu care a avut ca obiectiv determinarea influenței acestor parametri asupra cinematicii ocupantului.

Pentru realizarea studiului s-a folosit baza de date NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)-Vehicle Crash Test Database, în care disponibile date statistice referitoare la testele de coliziune specifice cercetării din domeniul industriei autovehiculelor.

Parametrul de apreciere a severității coliziunii, folosit în cadrul studiului, este variația vitezei vehiculului, Δv . Eficiența sistemelor de siguranță pasivă ale autovehiculului a fost estimată pe baza următorilor parametri:

- **eficiența energetică a coliziunii (μ)**, care reflectă gradul de absorbție a energiei cinetice prin deformarea structurii constructive a autovehiculului [1];

$$\mu = \frac{[(e)_{rd}]_{max}}{\frac{1}{2}v_{v0}^2} \quad (1)$$

Unde:

v_{v0} – viteza inițială a vehiculului [m/s];

e_{rd} – densitatea energetică a coliziunii [m^2/s^2];

$$e_{rd} = \int_0^{x_f} a_0 dx_v \quad (2)$$

a_0 – accelerația ocupantului [m/s^2];

x_v – deplasarea vehiculului [m];

x_f – deplasarea finală a vehiculului [m].

Densitatea energetică a coliziunii (e_{rd}) reflectă procentajul energiei cinetice absorbite de structura vehiculului și este înrânsă corelație cu deformația dinamică.

- **factorul energiei cinetice relative a ocupantului (E_c)**, este un indicator al eficienței sistemelor de reținere a ocupantului și exprimă valoarea normalizată a energiei cinetice a unității de masă a ocupantului:

$$E_c = \frac{[(v)_{rel}^2]_{max}}{25}$$

(3)

Unde:

v_{rel} – reprezintă viteza relativă dintre toracele ocupantului și vehicul [m/s];

$v_{rel} = v_v - v_0$

(4)

v_v – viteza vehiculului [m/s]

v_0 – viteza ocupantului [m/s]

Factorul energiei cinetice relative reflectă gradul de protecție a ocupantului la impact realizat prin intermediul sistemului de reținere.

Riscul de vătămare a ocupantului a fost estimat folosind următoarele criterii de vătămare:

- HIC-criteriul de vătămare al capului;

- CSI- indexul de severitate al toracelui [m/s];

- a(3ms) - accelerația maximă a toracelui pentru un interval de cel puțin 3ms.

3. Analiza cazuistică

Pentru realizarea studiului au fost selectate o serie de teste de coliziune care îndeplinesc cumulativ următoarele criterii:

- tipul impactului: frontal, vehicul-barieră fixă nedeformabilă;
- manechin de test utilizat: Hybrid III Male 50 percentile;
- sisteme de siguranță pasivă funcționale: centură de siguranță cu fixare în 3 puncte, airbag frontal sau ambele sisteme.

Din baza de date Vehicle Crash Test Database, pentru fiecare caz în parte au fost preluate următoarele date:

- caracteristicile accelerației și vitezei pentru: vehicul, torace ocupanți;
- caracteristica deplasării vehiculului;
- valorile deformației vehiculului măsurată în 6 puncte $C_1...C_6$;
- valoarea lățimii zonei deformată, L ;
- valorile criteriilor de vătămare $a(3ms)$, CSI și HIC

Datele preluate au fost stocate sub formă de fișier .xls în scopul prelucrării.

4. Analiza și interpretarea datelor

Pentru fiecare caz, pe baza accelerației vehiculului și accelerației ocupantului, au fost determinați următorii parametri:

- variația vitezei vehiculului Δv ;
- eficiența energetică a coliziunii, μ ;
- factorul energiei cinetice relative a ocupantului, E_c ;
- deformație medie a structurii vehiculului C_m .

5. Analiză statistică a datelor

Încadrul acestui studiu, pentru a evidenția valoarea energiei consumate pentru deformarea vehiculului s-a utilizat deformație medie, C_m .

Datele obținute în urma prelucrării inițiale au fost utilizate pentru a se determina corelațiile între parametrii specifici auto vehiculului și criteriile de vătămare.

În cazul coliziunilor în care ocupantul a fost protejat doar de centura de siguranță, au fost găsite corelațiile cele mai strânse între valoarea deformației medii, (C_m) și parametrii impactului specifici vehiculului (μ și E_c). Deoarece valoarea Δv în testele de coliziune analizate este cuprinsă în limitele 50,9 – 57 km/h, corelația dintre acest parametru și valoarea medie a deformației vehiculului nu este evidentă relativ la numărul total de cazuri analizate.

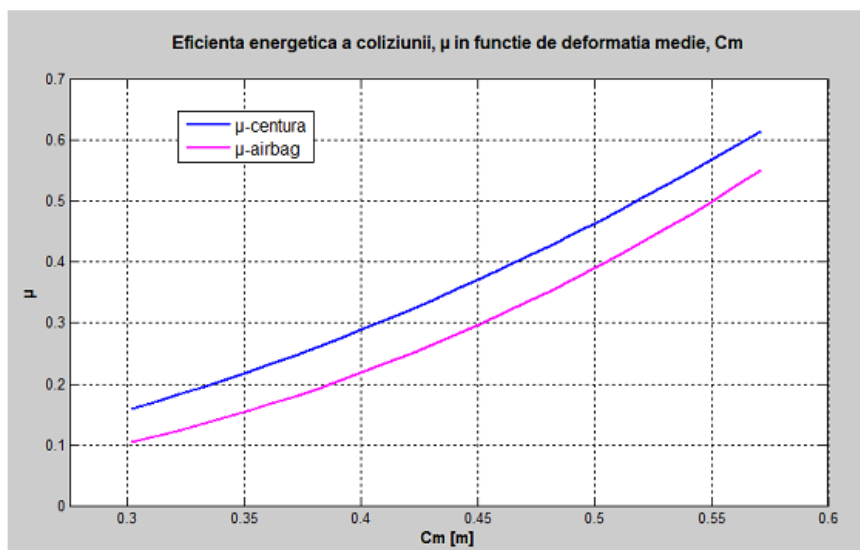


Figura 1- Caracteristica $\mu=f(C_m)$, pentru ocupantul cu centură de siguranță, respectiv cu airbag

Pentru a studia influența sistemului de siguranță al ocupantului (centură de siguranță sau airbag) asupra valorilor efective ale parametrilor μ și E_c , au fost trasate caracteristicile din Figura 1 și Figura 2, pe baza legilor de regresie putere.

Legile de regresie pentru eficiența energetică a coliziunii sunt:

- pentru ocupantul cu centura: $\mu = 2,0202 * C_m^{2,221}$
- pentru ocupantul cu airbag: $\mu = 2,3726 * C_m^{2,6052}$

Valorile superioare ale eficienței energetice a coliziunii (μ) în cazul ocupantului cu centură de siguranță comparativ cu situația ocupantului protejat de airbag, pentru aceeași deformare medie (C_m), se explică prin faptul că centura de siguranță limitează deplasarea ocupantului la momentul t_c , iar airbagul limitează deplasarea ocupantului la momentul t_a , $t_a > t_c$. În momentul impactului viteza ocupantului este egală cu viteza vehiculului ($v_0 = v_v$) iar accelerația ocupantului la momentul t_c , $a_{oc} = v_0 / t_c$ este mai mare decât accelerația ocupantului la momentul t_a , $a_{oa} = v_0 / t_a$. În condițiile în care $dx_v = C_d$ (deformația dinamică) și v_{0v} (viteza de impact a vehiculului) sunt constante pentru același impact, accelerația ocupantului este factorul care influențează în mod direct valoarea eficienței energetice a coliziunii, μ în funcție de sistemul de siguranță pasivă al ocupantului.

Legile de regresie pentru factorul energiei cinetice relative a ocupantului sunt:

- pentru ocupantul cu centura: $E_c = 0,2331 * C_m^{-2,221}$
- pentru ocupantul cu airbag: $E_c = 0,1876 * C_m^{-2,897}$

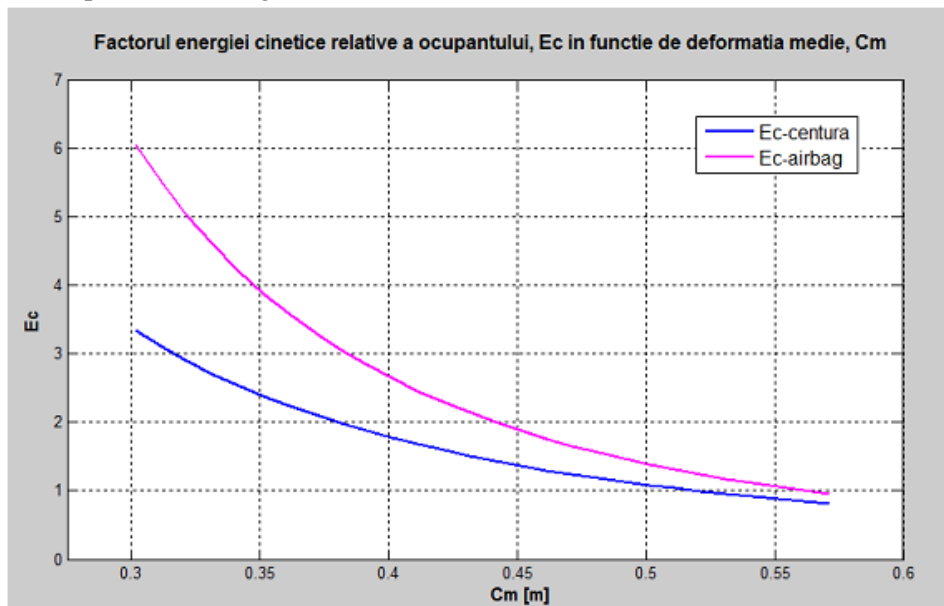


Figura 2- Caracteristica $E_c = f(C_m)$, pentru ocupantul cu centură de siguranță, respectiv cu airbag

În mod similar, viteza relativă maximă ($v_{rel})_{max}$ ocupant-vehicul este mai mare la momentul t_a la care airbagul limitează deplasarea relativă a ocupantului decât la momentul t_c la care acționează centura de siguranță ($(v_{rel})_{max.a} > (v_{rel})_{max.c}$ deoarece $t_a > t_c$). Astfel, în același impact, factorul energiei cinetice relative a ocupantului protejat de airbag, E_c este mai mare decât factorul energiei cinetice relative a ocupantului protejat de centura de siguranță, la aceeași valoare a deformației medii.

Aprecierea riscului de vătămare al ocupantului la impact frontal cu ajutorul criteriului de vătămare $a(3ms)$ este necesar să se facă luând în considerare sistemul de siguranță pasivă care a fost folosit sau activat în timpul impactului. Analiza statistică efectuată indică un risc de vătămare mai redus pentru ocupantul cu centură de siguranță comparativ cu ocupantul protejat de airbag, la o deformare medie a vehiculului de până la 0,55 m (Figura 3). Indiferent de sistemul de reținere al ocupantului, riscul de vătămare scade cu creșterea deformației medii.

Legile de regresie pentru criteriul $a(3ms)$ sunt următoarele:

- pentru ocupantul cu centura: $a(3ms) = 23,272 * C_m^{-0,715}$
- pentru ocupantul cu airbag: $a(3ms) = 19,407 * C_m^{-1,037}$

Riscul de vătămare estimat pe baza indexului de severitate a toracelui (CSI) este de asemenea, invers proporțional cu deformația medie (Figura 3.7). Analiza statistică efectuată nu evidențiază însă diferențe semnificative ale criteriului CSI în funcție de sistemul de reținere al ocupantului.

Legile de regresie pentru criteriul CSI sunt:

- pentru ocupantul cu centura: $CSI = 118,075 * C_m^{-1,275}$
- pentru ocupantul cu airbag: $CSI = 96,949 * C_m^{-1,528}$

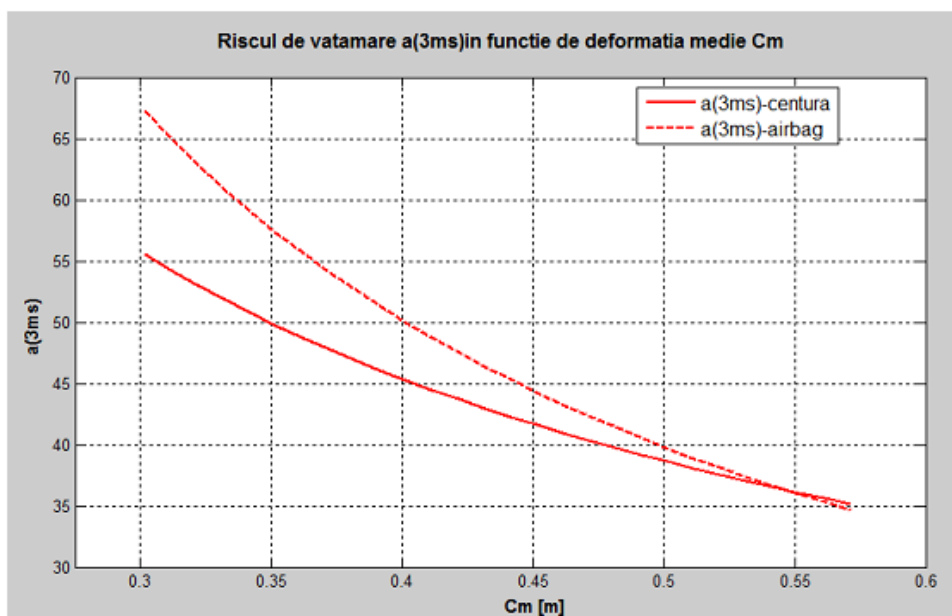


Figura 3- Criteriul de vătămare a(3ms) în funcție de deformația medie, pentru ocupantul cu centură de siguranță respectiv airbag frontal

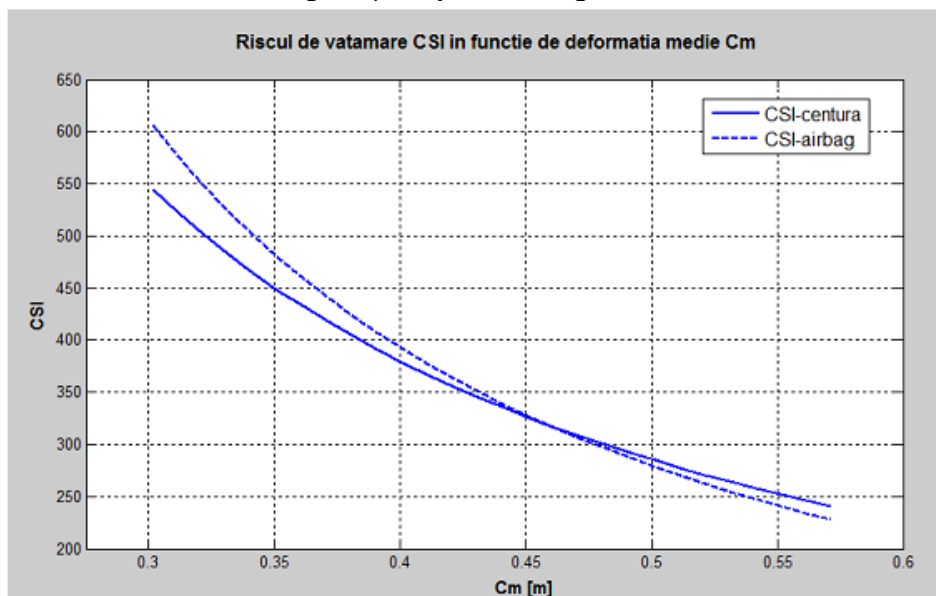


Figura 4- Riscul de vătămare CSI în funcție de deformația medie, pentru ocupantul cu centură de siguranță respectiv airbag frontal

Concluziile studiului

Variația vitezei vehiculului în coliziune este criteriul cel mai uzual pentru estimarea severității impactului. Acest criteriu este utilizat totodată ca predictor al riscului de vătămare. Pentru a estima mai precis severitatea impactului la nivelul ocupantului este indicat a se utiliza parametri care caracterizează nivelul de securitate pasivă al autovehiculului. În cadrul acestui studiu, performanțele structurii vehiculului de absorbție a energiei cinetice prin deformare au fost evaluate pe baza parametrului μ -

eficiența energetică a coliziunii. Pentru aprecierea performanțelor sistemului de reținere al ocupantului s-a folosit parametrul E_c – factorul energiei cinetice relative a ocupantului.

Întrucât în cadrul cercetării accidentelor rutiere acești parametri nu pot fi evaluați în mod direct, s-a încercat determinarea unor relații între aceștia și deformația medie a vehiculului C_m , ca mărime care poate fi determinată prin măsurarea profilului deformat.

În testele de coliziune analizate parametrul Δv a avut valori cuprinse în intervalul 50,9 – 57 km/h, influența sa asupra deformației medii fiind considerată nesemnificativă. Analiza statistică indică faptul că parametrul Δv nu influențează valoarea criteriilor de vătămare pentru seturile de teste analizate.

Parametri care caracterizează siguranța pasivă a autovehiculului se află în strânsă corelație cu deformația medie, astfel:

- Eficiența energetică a coliziunii (μ) este direct proporțională cu deformația medie. Deformarea mai pronunțată a structurii vehiculului, la aceeași viteză de impact, se transpune într-o eficiență energetică mai ridicată, deci un risc de vătămare al ocupantului mai redus.
- Factorul energiei cinetice relative a ocupantului (E_c) este invers proporțional cu deformația medie. Deformarea mai pronunțată a structurii vehiculului implică reducerea valorii factorului energiei cinetice relative a ocupantului, și implicit reducerea riscului de vătămare.

Valorile parametrilor μ și E_c sunt influențate de sistemul de reținere al ocupantului. Astfel s-a arătat că în cazul ocupantului cu centură de siguranță μ are valori mai mari și E_c are valori mai mici decât în cazul ocupantului protejat de airbag, ceea ce indică un risc de vătămare mai redus pentru ocupantul cu centură de siguranță.

În ceea ce privește dependența criteriilor de vătămare de deformația medie, se poate concluziona că în condițiile în care $\Delta v = \text{const}$, criteriul accelerației maxime a toracelui, $a(3ms)$ și criteriul indicele de severitate al toracelui, CSI sunt invers proporționale cu deformația medie. Aceasta indică reducerea riscului de vătămare cu creșterea deformației medii.

Analiza în funcție de sistemul de reținere al ocupantului arată că în intervalul deformației medii de până la 0,55 m centura de siguranță oferă o mai bună protecție ocupantului la impact frontal, comparativ cu airbagul, riscul de vătămare fiind evaluat pe baza criteriului de vătămare $a(3ms)$. Criteriul de vătămare CSI indică același risc de vătămare indiferent de sistemul de reținere activat în momentul impactului.

Bibliografie

1. Huang, M., „*Vehicle Crash Mechanics*.” Boca Raton, Florida, 2002;
2. Gaiginschi, R., Filip I. „*Expertiza tehnică a accidentelor rutiere*” București: Editura Tehnică, 2002;
3. Popa, V., Beles, H. „*Studiul structurii adaptive a autovehiculelor pentru coliziuni frontale*”. Oradea: IMT Oradea, 2012;
4. Popa, V. „*Studiul riscului de vătămare a ocupanților în cazul coliziunii laterale de tip vehicul-vehicul pe baza deformațiilor autovehiculului*.” Brașov: CONAT 2010;
5. Gaiginschi, R., „*Reconstrucția și expertiza accidentelor rutiere*”, Editura Tehnică, București, 2009;