A X-a Conferință Națională multidisciplinară - cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL - fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEŞ, 2010

SPORIREA SIGURANȚEI RUTIERE PRIN ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚILOR DE FRÂNARE ALE AUTOMOBILELOR

István BARABÁS, Adrian TODORUȚ, Petru BRÂNZAŞ

BRAKING CAPACITY IMPROVEMENTS CONTRIBUTING TO ROAD SAFETY

Raising the automobile speed leads to higher energies to be consumed by the braking system. The thermal proprieties of different brake discs have been studied in different traffic situations, like speed and road declivities. The study demonstrates that aluminum alloy discs have the best thermal and thus the best friction characteristics.

Cuvinte cheie: automobil, sistem de frânare, disc autoventilat

1. Introducere

Sistemul de frânare al automobilului reprezintă elementul primordial în asigurarea securității circulației rutiere, mai ales în condițiile creşterii continue a calităților dinamice ale automobilelor şi a traficului rutier.

Din punct de vedere energetic, prin frânare trebuie să se transforme parțial sau aproape total energia cinetică şi/sau potențială a automobilului în energie termică. Această transformare se realizează cel mai simplu prin frecare. Pentru reducerea vitezei automobilului trebuie create forțe care se opun mişcării, deoarece unele rezistențe la înaintare (rezistența la rulare şi rezistența aerului) au efecte reduse, iar rezistența la accelerare, în cazul frânării devine forță activă. Aceste

forțe care se opun mişcării se numesc *forțe de frânare* şi trebuie să aibă valori suficient de mari care să poată fi reglate de conducătorul auto în funcție de necesități.

Pe plan mondial se depun eforturi deosebite pentru îmbunătățirea continuă a sistemului de frânare ca şi a celorlalte sisteme legate de securitatea circulației rutiere, eforturi determinate de rezultatele numeroaselor investigații referitoare la cauzele şi gravitatea accidentelor de circulație, care au arătat că cele provenite din defectarea sau comportarea nesatisfăcătoare a sistemului de frânare, deşi sunt relativ puține, se caracterizează printr-o gravitate deosebită.

2. Studii comparative în utilizarea discurilor de frână pline şi autoventilate

Discul autoventilat se realizează pe baza discurilor existente la modelul Dacia Solenza. Dimensiunile discului de frână autoventilat sunt aceleaşi cu cele ale discului clasic al Daciei Logan, cu excepția grosimii discului datorită canalizațiilor de răcire. Noua grosime a discului de frână este de 20 mm față de 12 mm inițial. Numărul fantelor de răcire este de 45. Impunerea noilor dimensiuni a necesitat verificarea discului la solicitări mecanice, rezultând: forța de acționare a bacurilor (19 360 N); presiunea pe suprafața garniturilor de fricțiune (36,854 daN/cm^2) (valori recomandate: p_{med}<70 daN/cm^2); puterea specifică de frânare pentru puntea din față (1,937 kW/cm^2).

Discul autoventilat, prin rotirea lui, generează un curent de aer prin canalele radiale de răcire ale acestuia (figura 1 şi figura 2), de la centru spre periferie a cărui viteză de curgere este proporțională cu viteza unghiulară de rotație ω a discului.

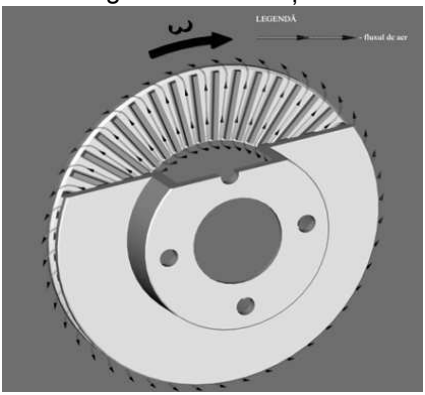

Fig. 1 Curenții de aer prin interiorul discurilor autoventilate cu fante drepte

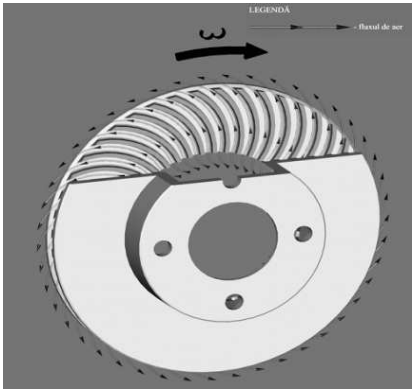

Fig. 2 Curenții de aer prin interiorul discurilor autoventilate cu fante curbate

În cazul apariției mişcării de translație a discului sau a unui curent de aer din exterior, forma fluxului de aer se modifică. Cu toate că discurile de frână execută întotdeauna mişcarea combinată de rototranslație, în cazul automobilelor forma curenților de aer care străbat discul este asemănătoare cu cea din figura 1 şi figura 2. În acest caz, fantele trebuie să opună cât mai puțină rezistență aerodinamică.

Pentru efectuarea unei comparații între frânele cu disc plin şi autoventilat (tabelul 1 - Parametrii dimensionali ai discurilor utilizate; tabelul 2 - Proprietățile fizice ale aliajelor utilizate) se consideră utilizarea celor două tipuri de discuri (plin şi autoventilat) şi a două aliaje pentru fiecare tip de disc (pe bază de aliaj de aluminiu, respectiv pe pe bază de fontă cenuşie). Garniturile de fricțiune utilizate sunt cu inserție de cupru.

Tabelul 1

Parametrul	Disc plin		Disc autoventilat	
Raza interioară, r_i, [mm]	73,25		73,25	
Raza exterioară, r_e, [mm]	129,50		129,50	
Raza medie, r_m, [mm]	51,99		51,99	
Aria de răcire, A_r, [cm^2]	767		1561	
Grosime, δ, [mm]	12		20	
Masa, m_d, [kg]	Fontă cenuşie	A356 + 30% SiC	Fontă cenuşie	A356 + 30% SiC
	3,3	1,8	4,1	2,2

Tabelul 2

Proprietatea fizică	Fontă cenuşie	A356 + 30% SiC	Garnitură organică Ferodo AM8
Densitate, ρ, [kg/m^3]	7200	2850	2595
Căldura specifică, c, [kJ/kg°C]	0,585	0,820	1,465
Difuzivitatea termică, α_t, [kJ/mh°C]	18	195	-
Duritatea, [kg/mm^2]	80±10	98±2,4	-

Influența vitezei automobilului asupra transferului termic la frânarea intensivă. La frânare intensivă, se consideră o viteză inițială diferită de zero, o decelerație medie şi o viteză finală care, de obicei, este egală cu zero. Creşterea temperaturii în urma frânării se determină cu relația:

$$\Delta T = \sqrt{\frac{8}{9}} \cdot \frac{\xi}{\rho} \cdot \frac{q_0}{c} \cdot \sqrt{\frac{v_a}{3.6 \cdot \alpha_t \cdot d_m \cdot \pi}} \; [°C], \qquad (1)$$

în care: ρ este densitatea materialului discului; c – căldura specifică a materialului discului; α_t – difuzivitatea termică; v_a – viteza automobilului, v_a = 10÷160 km/h, d_m – decelerația medie, d_m = 6,5 m/s^2; ξ – coeficientul de repartizare a căldurii între suprafețele în contact (coeficientul de repartizare a căldurii pentru discul pe bază de fontă cenuşie, ξ_{Fc} = 0,859; coeficientul de repartizare a căldurii pentru discul pe bază de aliaj de aluminiu, ξ_{Al} = 0,936); q_0 – fluxul termic (ia valori între 110÷1700 kJ/cm^2·s, în funcție de viteza de la care începe frânarea).

Creşterea de temperatură calculată astfel neglijează transferul termic spre exterior. În consecință, din rezultatul final al temperaturii trebuie scăzută temperatura cedată mediului ambiant. După prelucrarea datelor se obțin rezultatele numerice pentru creşterea de temperatură în funcție de viteza automobilului (figura 3 şi figura 4) pentru fiecare dintre cele patru discuri de frână luate în studiu. Se constată că aliajul de aluminiu aduce o îmbunătățire a performanțelor termice a frânelor, față de fonta cenuşie pentru ambele tipuri de disc.

Influența ariei garniturilor de fricțiune asupra încălzirii suprafețelor de fricțiune la frânarea intensivă. Pentru analiza creşterii de temperatură ΔT în funcție de aria garniturilor de fricțiune A_g se consideră viteza automobilului v_a=30 km/h. În cazul acesta, schimbul de căldură cu exteriorul se neglijează, deoarece are o influență extrem de redusă asupra temperaturii finale chiar şi la discurile autoventilate.

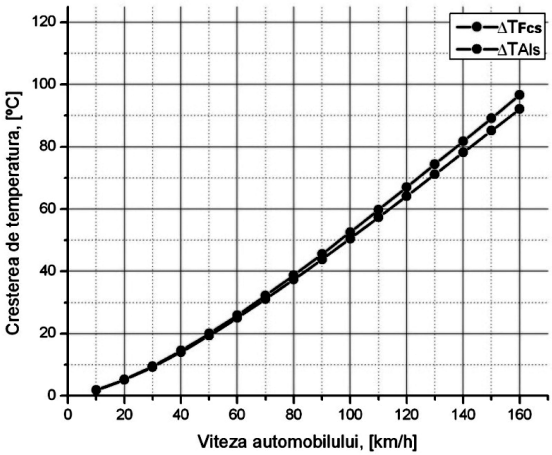

Fig. 3 Variația temperaturii dintre suprafețele de fricțiune în funcție de viteza de la care se începe frânarea pentru *discurile de frână pline* pe bază de fontă cenuşie şi aliaj de aluminiu

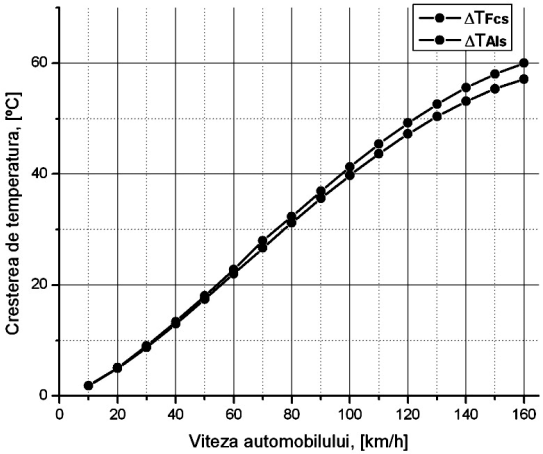

Fig. 4 Variația temperaturii dintre suprafețele de frictiune în funcție de viteza de la care se începe frânarea pentru *discurile de frână autoventilate* pe bază de fontă cenuşie şi aliaj de aluminiu

Influența ariei garniturilor de frictiune asupra creşterii temperaturii în timpul frânării se poate interpreta din figura 5. De aici reiese că la dublarea suprafeței de contact a garniturilor de frictiune cu discul de frână, la o frânare de la viteza de 30 km/h, temperatura între suprafețele de contact este mai redusă cu aproximativ 5°C față de 10°C în cazul garniturilor inițiale.

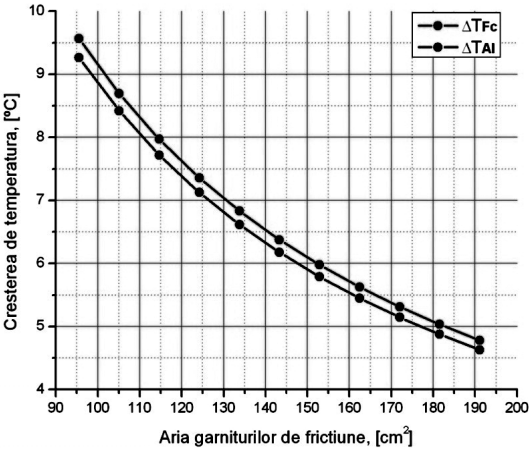

Fig. 5 Variația temperaturii dintre suprafețele de frictiune în funcție de aria garniturilor de frictiune pentru *discurile pline* pe bază de fontă cenuşie şi aliaj de aluminiu

Pentru discurile autoventilate (figura 6), mărirea suprafețelor de fricțiune ale plăcuțelor de frână are o influență asemănătoare cu cea de la discurile pline. În cazul acesta temperatura are o variație aproape liniară, scăzând de la aproximativ 8,5°C la 4,2°C. Acesta este avantajul pe care îl prezintă creşterea ariei de fricțiune, însă este necesară utilizarea unor etriere mai complexe (cu pistoane multiple), sau jante mai mari pentru a încăpea discuri de frână mai mari, ceea ce ridică mult prețul automobilului.

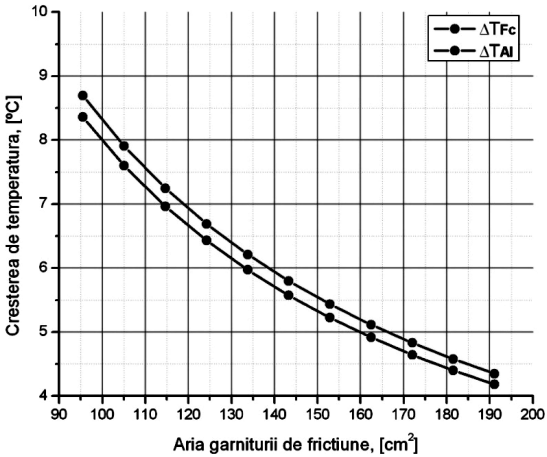

Fig. 6 Variația temperaturii dintre suprafețele de fricțiune în funcție de aria garniturilor de fricțiune *pentru discurile de frână autoventilate* pe bază de fontă cenuşie şi aliaj de aluminiu

Influența vitezei asupra timpului de încălzire a frânelor la frânarea de lungă durată. Timpul în care temperatura dintre suprafețele de fricțiune ajunge la o valoare prestabilită se determină cu relația:

$$t = \frac{c \cdot m_d \cdot g}{\alpha \cdot A_r} \cdot \ln \frac{q_d \cdot A_g}{q_d \cdot A_g + \alpha \cdot A_r \cdot T} \text{ [s]}, \qquad (2)$$

în care: c este căldura specifică a materialului discului (v. tabelul 2); m_d – masa discului (v. tabelul 1), A_r – aria de răcire a discului de frână, (v. tabelul 1); g – accelerația gravitațională; A_g – aria garniturilor de fricțiune (A_g = 95,544 cm^2); T – temperatura discului la sfârşitul frânării, (T = 300 ^{0}C); α – coeficientul de schimb de căldură, q_d –fluxul termic.

La frânarea de lungă durată pe un drum cu înclinarea longitudinală de 8%, se studiază influența vitezei asupra timpului de încălzire a frânelor. Temperatura la care trebuie să ajungă discul este de 300°C, aceasta fiind o temperatură maximă pe care o pot suporta

garniturile de fricțiune. Din rezultatele obținute sub formă grafică (figura 7, figura 8 şi figura 9) reiese că timpul de încălzire a frânelor scade rapid cu viteza până la 50 km/h, după care viteza nu mai are o influență semnificativă.

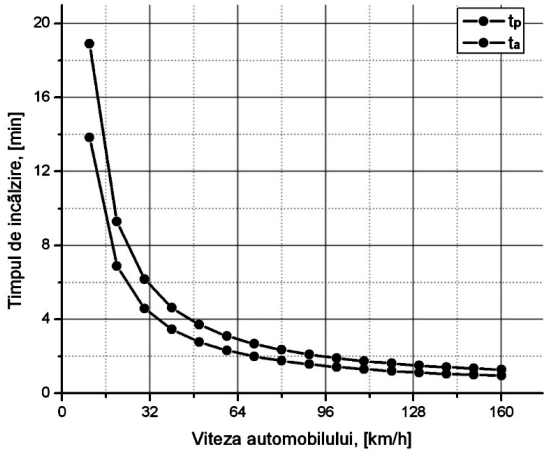

Fig. 7 Variația timpului de încălzire a frânelor în funcție de viteza automobilului pentru *discurile de frână pline şi autoventilate*, pe bază de fontă cenuşie

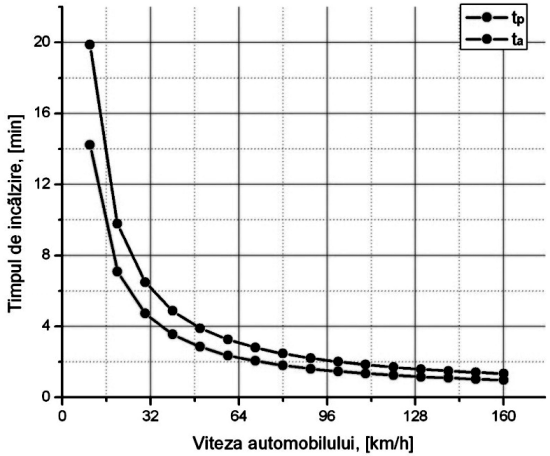

Fig. 8 Variația timpului de încălzire a frânelor în funcție de viteza automobilului pentru *discurile de frână pline şi autoventilate*, pe bază de aliaj de aluminiu

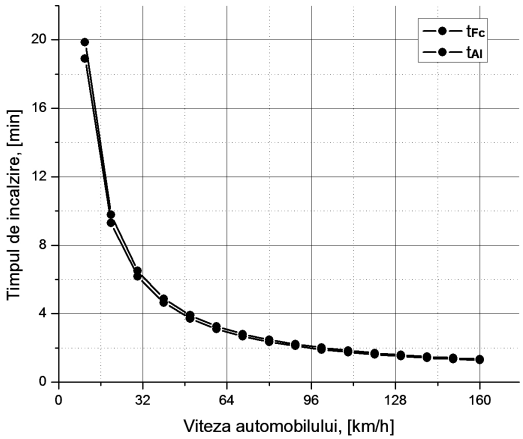

Fig. 9 Variaţia timpului încălzire a frânelor în funcţie de viteza automobilului pentru *discurile de frână autoventilate* pe bază de fontă cenuşie şi aliaj de aluminiu

Influenţa rezistenţei pantei asupra timpului de încălzire a frânelor la frânarea de lungă durată. Pentru a scoate în evidenţă influenţa rezistenţei pantei asupra timpului de încălzire a frânelor (figura 10, figura 11 şi figura 12) se ţine seama de următoarele specificaţii: viteza automobilului are o singură valoare v_a=30 km/h; rezistenţa aerului se neglijează; unghiul de înclinare longitudinală a drumului, exprimat în procente, ia valori între 1÷14%.

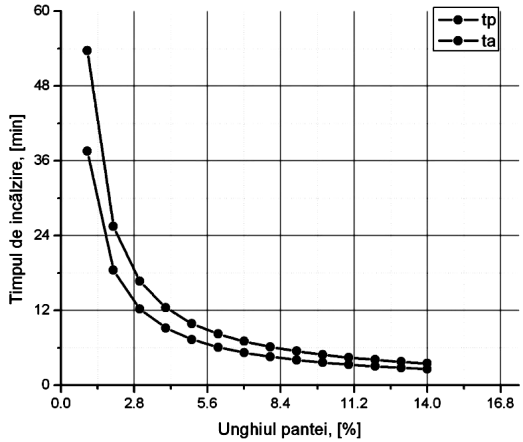

Fig. 10 Variaţia timpului de încălzire a frânelor în funcţie de înclinarea longitudinală a drumului pentru *discurile de frână pline şi autoventilate*, pe bază de fontă cenuşie

Analizând rezultatele obținute grafic, se constată că înclinările drumului de până la 5 % au o influență ridicată în procesul de încălzire urmând ca de la 5 % influența pantei să fie neglijabilă.

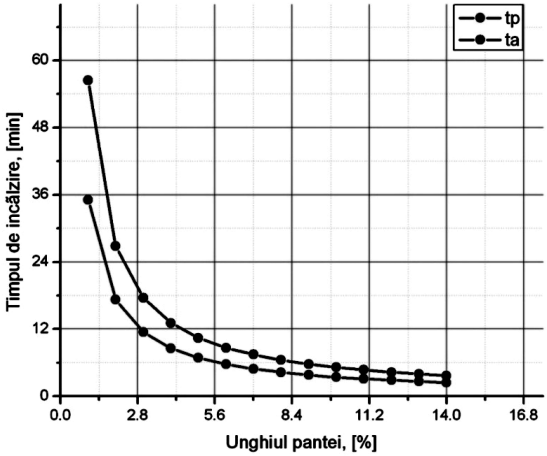

Fig. 11 Variația timpului încălzire a frânelor în funcție înclinarea longitudinală a drumului *pentru discurile de frână pline şi autoventilate*, pe bază de fontă cenuşie

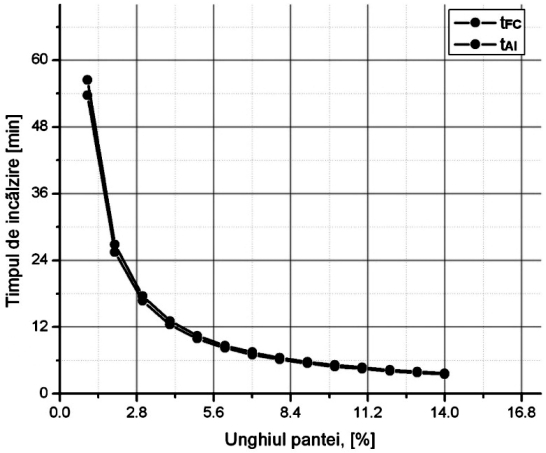

Fig. 12 Variația timpului încălzire a frânelor în funcție de înclinarea longitudinală a drumului pentru *discurile de frână autoventilate* pe bază de fontă cenuşie şi aliaj de aluminiu

3. Concluzii

■ Prezenta lucrare a urmărit îmbunătățirea calităților de frânare ale automobilelor prin proiectarea frânelor cu discuri autoventilate. Analiza curenților de aer prin interiorul discurilor autoventilate creează o imagine de ansamblu despre modul în care acestea pun aerul în mişcare şi ce trebuie făcut pentru optimizarea circulației aerului prin canalele de răcire. Analiza comparativă între cele două tipuri de discuri de frână, realizată în cadrul lucrării, arată superioritatea termică a discurilor autoventilate față de cele pline, datorită suprafeței de răcire de aproximativ trei ori mai mare.

■ Materialul din care este construit discul influențează proprietățile termice ale acestuia. Dintre cele două materiale analizate, aliajele de aluminiu evacuează o cantitate mai mare de căldură decât fonta cenuşie în aceleaşi condiții de solicitare. În plus, utilizarea aliajului de aluminiu reduce şi masa discului, adică inerția componentelor în mişcare. Din punct de vedere termic, utilizarea discurilor de frână autoventilate pe bază de aliaje de aluminiu este soluția cea mai eficientă (excluzând materialele ceramice care prezintă dezavantajul unui preț foarte ridicat), dar utilizarea aliajelor de aluminiu aduc cu sine scăderea coeficientului de fricțiune, deci, un răspuns mai slab al frânelor şi solicitări mai mari în componentele mecanismului de frânare.

■ Una dintre principalele orientări în dezvoltarea automobilelor este creşterea vitezelor de deplasare a acestora, ceea ce duce la creşterea cantității de energie ce trebuie disipată de către sistemul de frânare cu consecințele unor temperaturi superioare şi eforturi ridicate în componentele sistemelor de frânare.

BIBLIOGRAFIE

[1] Frățilă, Ghe., Mărculescu, Ghe., *Sistemele de frânare ale autovehiculelor*. Bucureşti, Editura tehnică, 1986.
[2] Gaiginschi, R., *Reconstrucția şi expertiza accidentelor rutiere*. Bucureşti, Editura tehnică, 2009.
[3] Todoruț, A., *Dinamica accidentelor de circulație.* Cluj-Napoca, Editura U.T.PRESS, 2008.
[4] Untaru, M., Frățilă, Ghe., Pereş, Ghe., *Calculul şi construcția automobilelor*. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1982.

Conf.Dr.Ing. István BARABÁS,
Conf.Dr.Ing. Adrian TODORUȚ,
Prof.Dr.Ing. Petru BRÂNZAŞ
Catedra ARMA,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, membri AGIR