

SISTEMELE DE FRÂNARE ALE AUTOMOBILELOR. SITUAȚIA ACTUALĂ ȘI PERSPECTIVE

Drd. ing. **Romeo ȘTEFAN-IONESCU**¹, Prof. dr. ing. **Anghel CHIRU**²,
Ing. **Adrian ROSESCU**¹

¹Renault Technologie România, ²Universitatea „Transilvania” din Brașov

REZUMAT. Sistemele de frânare prezintă numeroase caracteristici cu impact asupra securității, performanțelor tehnice, economice și de confort al conducerii, ale automobilelor. Prezenta lucrare face descrierea sistemelor actuale și limitele acestora. Sunt prezentate, de asemenea, principalele evoluții și noile funcțiuni permise de către dezvoltarea electronicii.

Cuvinte cheie: sistem de frânare, performanțe tehnice, confortul conducerii.

ABSTRACT. Passenger car brake systems comply with many characteristics regarding security, technical and economic performance and handling. This paper describes these systems and their limits. The main developments and new functions brought by electronics are also discussed.

Keywords: brake system, technical performance, handling.

1. INTRODUCERE

Sistemele de frânare ale automobilelor sunt într-o evoluție permanentă, căutându-se ameliorarea securității și a celui mai bun compromis între confort, performanțe, costuri și masă pe vehicul. Principalele caracteristici ce sunt căutate:

- confort, sau plăcerea de a conduce:
 - eficacitate percepută, progresivitate : eforturi, cursa și acuratețea comenzii frânei;
 - absența zgomotelor și vibrațiilor;
- performanțe, eficacitatea reală:
 - distanța de oprire;
 - duranța termică;
 - stabilitatea și capacitatea de menținere a traiectoriei în timpul frânării vehiculului;
- costuri (privit prin prisma constructorului de vehicule):
 - costul sistemului pe vehicul (la livrare);
 - întreținerea (flote de vehicule închiriate);
- masa sistemului și gabarit pe vehicul:
 - diminuarea consumului vehiculului prin diminuarea masei sistemului (40 kg, 0,1 l/100 km);
 - un control permanent al forței de frânare reziduale (15 N forță reziduală, 0,1 l/100 km);
 - găsirea celui mai mare volum de amplasare a sistemului și a gabaritului minim ocupat pe vehicul, prin reducerea și densificarea volumelor tehnice.
- exigențe în materie de securitate și de reglementare, într-o permanentă creștere.

Satisfacerea ansamblului de cerințe evocate mai sus cât și performanțele atinse în domeniul electronicii și al noilor funcțiuni pe care aceasta le permite, sunt elemente puternice în evoluția sistemelor de frânare. După o trecere în revistă rapidă a constituenților și ale limitărilor sistemelor actuale, vor fi prezentate câteva direcții potențiale de evoluție, în următorii ani.

2. SISTEMELE DE FRÂNARE ALE AUTOMOBILELOR

2.1. Generalități

Automobilele sunt echipate cu frâne prin fricțiune pe fiecare roată:

- frâne cu disc pe puntea față [A];
- frâne cu disc sau cu tambur pe puntea spate [B].

Frânele sunt comandate hidraulic; acelea care sunt utilizate pentru imobilizare în staționare prezintă între altele o comandă și un sistem de înzăvorăre mecanic.

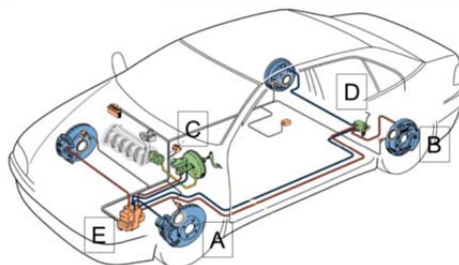


Fig. 1. Sistemul de frânare al unui automobil.

Presiunea de comandă este generată într-un cilindru emițător plecându-se de la efortul aplicat pe pedala de frână. Acest efort este amplificat de către un amplificator de efort pneumatic [C] alimentat de către depresiunea naturală a motorului sau printr-o pompă de vid. Se întâlnesc de asemenea amplificatoare de efort hidraulice, comandate de către un generator sau de către un acumulator de înaltă presiune. Cilindrul principal de comandă (sau emițător) al circuitelor hidraulice de frânare, este separat de către un piston plonjor care delimitează două circuite izolate ce comandă fiecare o parte dintre receptorii de frână.

Sistemul este completat de organe de reglare a presiunii:

- corector hidraulic de frânare, comandat să nu de către trenul spate, între cilindrul emițător și frânele trenului spate, pentru a constrânge ca alunecarea roților spate să rămână inferioară alunecării roților față [D];

- bloc de reglare și captatori ABS de viteză a roții, permițând limitarea presiunii în frânele de roată, acolo unde tendința la blocare este sesizată [E].

2.2. Frânele de roată

2.2.1. Frânele disc

Frânele disc sunt universal utilizate la automobile pentru stabilitatea lor cât și pentru buna capacitate de absorbție termică și de răcire.

Discurile, din fontă, sunt în general ventilate pe puntea față și sunt dimensionate pentru a nu depăși temperaturi de 600 la 700 °C în cazul unor succesiuni de frânări severe, cum ar fi:

- coborârile alpine, care solicită capacitatea termică a discurilor și posibilitățile acestora de răcire;

- înlănțuirile accelerații-frânări, care solicită în mod implicit capacitatea termică a discurilor. Acest tip de încercare este sistematic practicat de către revistele de specialitate în Germania. Este vorba în principal de testul AMS (*AutoMotor und Sport*) care constă în, spre exemplu, înlănțuirea cât mai rapid posibil a zece frânări de urgență, de la 100 km/h până la oprire, la sarcină maximă; evaluarea se face pe spațiul de oprire obținut la ultima frânare din lanțul celor zece. Considerarea acestui tip de test este adesea preponderentă în dimensionarea frânelor propriu-zise și comenzilor acestora.

Elementele de fricțiune utilizate la automobile prezintă niveluri de frecare care descresc de manieră semnificativă plecând de la aproximativ 300°C; se caută limitarea temperaturilor atinse în cadrul frânărilor înlănțuite, în special în ceea ce privește creșterea capacităților termice ale discurilor. Acestea fiind direct legate de dimensiunile geometrice ale rotorului, tendința actuală este de a se ocupa în totalitate spațiul disponibil în interiorul roților.

În afară de proprietățile termice, se urmărește a fi dezvoltate numeroase calități la o frână, acestea fiind adesea contradictorii:

- ținerea sub control a deformațiilor la cald și reziduale ale discurilor de frână;

- repartiția omogenă a presiunii și a uzurii pe patinele de frecare;

- uzura redusă a discului și a patinelor de frecare;

- o mare rigiditate a etrierului, un joc mic între patină / disc în fazele din afara frânării și o tasare redusă a patinei, pentru a se limita consumul hidraulic;

- calitatea patinelor de a neutraliza defectele geometrice prezente la rotația discului;

- un cuplu rezidual redus în fazele din afara frânării;

- funcționarea silențioasă, fără vibrații

Progresele realizate în aceste domenii sunt rezultatul unei optimizări și al unui control sistematic al parametrilor de concepție ai discurilor, al elementelor de fricțiune și al etrierelor. Nu se pot evidenția evoluții spectaculoase sau inovații tehnologice majore în domeniu. Ultima propunere semnificativă face obiectul discurilor din aliaj de aluminiu ranforsat; aceasta n-a făcut obiectul unei aplicări industriale prestabilite, pentru rațiuni de limitări funcționale în cazul solicitărilor severe și de cost.

Stăpânirea zgomotelor și vibrațiilor rămâne o preocupare majoră pentru constructorii de automobile cât și pentru furnizorii de componente ale sistemului. Aceste fenomene nu sunt încă suficient predictibile prin calcul. Metodele de caracterizare, analiză și tratare rămân esențialmente cele experimentale; sunt dificil de realizat, necesită un timp de analiză îndelungat și necesită în general suporti de încercare pe vehicul, fideli, deci, care ajung târziu a fi disponibili într-un proiect în dezvoltare.

2.2.2. Frânele cu tamburi

Frânele cu tambur sunt limitate datorită performanțelor lor termice modeste, în special în ceea ce privește creșterea absorbției frânei ce însoțește dilatarea tamburului la cald. Ele prezintă totodată un interes economic indubitabil și rămân prezente pe puntea spate a vehiculelor de mici dimensiuni.

2.3. Comenzile frânelor cu asistare pneumatică

Economice, fiabile și performante, amplificatoarele pneumatice de efort sunt foarte larg răspândite pe automobile. Efortul de asistare provine de la acțiunea de generare de depresiune de la motor sau de la o pompa de vid. Raportul de amplificare variază în general de la 4 la 6. Performanțele sunt limitate prin nivelul de depresiune disponibil și prin mărimea pistonului pneumatic pus în joc, care condiționează efortul de asistare maxim a fi atins.

Tendința actuală fiind de reducere a depresiunii realizate de către motoarele cu benzină și de creștere a performanțelor la frânare, volumul disponibil pe vehicul pentru amplasarea amplificatorului riscă să devină un handicap serios pentru aceasta tehnologie în următorii ani.

2.3.1. Ajutorul la frânarea de urgență

Ajutorul la frânarea de urgență este o funcțiune cvasigeneralizată, asigurată de către amplificatorul de frânare. Dezvoltarea acestei funcțiuni s-a sprijinit pe constatarea că o proporție importantă (aproximativ 50%) dintre conducătorii auto nu ar avea un comportament adaptat unei situații de frânare de urgență.

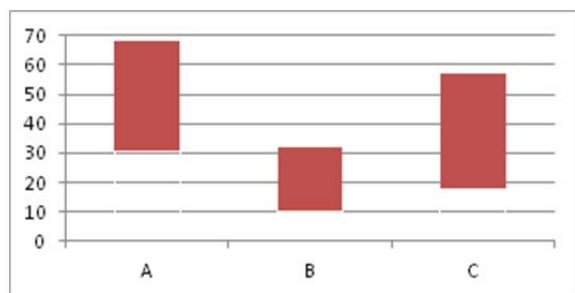


Fig. 2. Repartiția tipologiilor de conducători ce frânează în situații de urgență:
A – buni; B – ezitanți; C – neadaptați.

O modalitate de a ameliora această situație este detectarea de către amplificatorul de frânare a stării de urgență, în funcție de viteza de acționare asupra pedalei de frână, necesară pentru a se atinge nivelul de intervenție al ABS și menținerea nivelului ridicat de presiune până la încetarea acționării asupra pedalei de frână.

Un astfel de sistem permite evitarea a 20% dintre coliziunile din intersecții, conform unei analize de accidentologie [1].

Constructorii germani auto echipează modelele lor cu această funcțiune încă de la sfârșitul anului 1997. Ceilalți constructori europeni au început echiparea sistematică a vehiculelor propuse, din 2004.

Sistemele actuale, bazate pe electronică, rămân costisitoare. Furnizorii de amplificatoare de frânare lucrează actualmente pe sisteme mecanice, direct adaptate pe amplificatoarele de frânare pneumatice, clasice.

2.4. Sistemele ABS

2.4.1. Principiul ABS

Sistemele ABS (ABS = Anti-Lock Braking Sistem), sunt sisteme de control al vitezei roților și de limitare a presiunilor din sistemul hidraulic de frânare. Pentru toți constructorii europeni, aplicarea

acestor sisteme s-a generalizat, începând cu 2008 fiind o condiție reglementară pentru noile modele, iar din februarie 2011 sunt aplicate pe toate modelele aflate în fabricație.

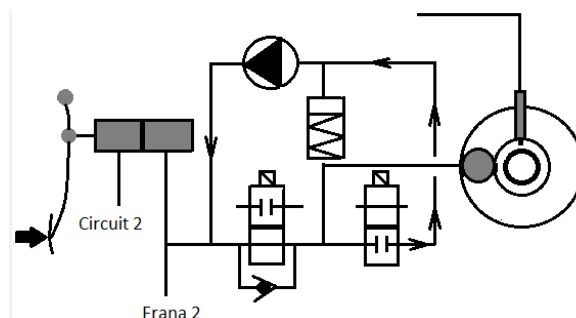


Fig. 3. Principiul de funcționare al unui sistem ABS.

ABS-ul este astăzi o funcțiune fiabilă și performantă, care permite obținerea unei bune distanțe de frânare în marea majoritate a situațiilor, garantând stabilitatea vehiculului și permițând manevre de evitare a tamponării. Sistemele ABS moderne asigură, de asemenea, repartiția de frânare față/spate, limitând procentul de alunecare pe roțile spate, înainte de a se atinge limitele de blocare.

Furnizorii de sisteme ABS europeni propun o arhitectură hidraulică standard, bazată pe două electrovalve pe frână și o pompă de refulare (fig. 3)

Greutatea și gabaritul acestor sisteme a scăzut continuu în ultimii ani (de la 6 la 3 kg). Costul rămâne ridicat (aproximativ 50% din prețul sistemului de frânare), dar contribuția la securitatea vehiculului este astăzi de necontestat, cu toate că pentru utilizarea unui astfel de sistem de manieră corectă este necesar un instructaj al conducătorului.

3. FUNCȚIUNILE DERIVATE ALE FRÂNĂRII

3.1. Antipatinajul (ASR)

Pasul ce separă un sistem pasiv, cum este cel ABS, către un sistem activ, deci capabil să genereze o presiune de frânare independentă de acțiunea conducătorului, a fost repede trecut datorită progresele electronicii combinate cu posibilitățile de control ale vehiculului, posibilități oferite de către frânarea selectivă a uneia sau a mai multor roți.

Antipatinajul (ASR = Anti Slip Regulation) este un prim exemplu: urmărind viteza roților, sunt repere și frânate roțile motrice având tendința de a patina, ceea ce crește motricitatea și stabilitatea (propulsie) sau capacitatea de a menține direcția (tracțiune) a vehiculului. Această acțiune este însoțită de o reducere a cuplului motor, printr-o acțiune asupra calculatorului motorului.

Fig. 4. Principiul de funcționare al unui antipatinaj.

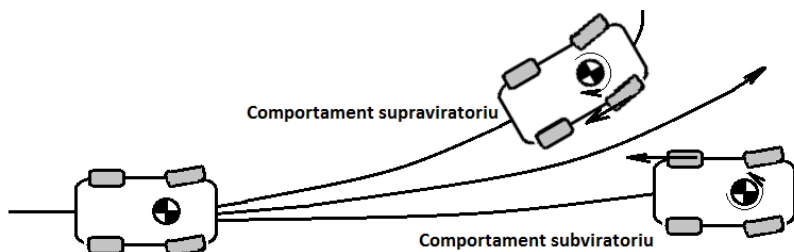
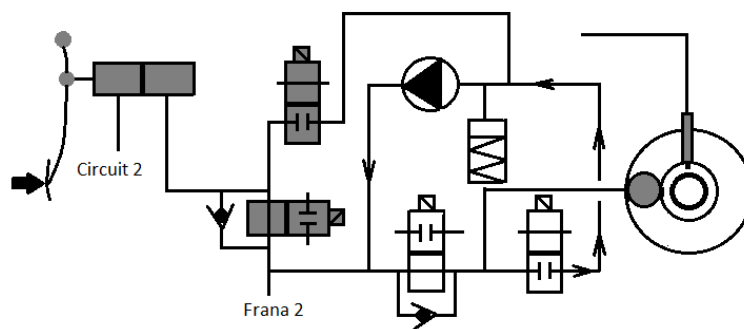


Fig. 5. Corecția traiectoriei vehiculului cu ajutorul sistemului de control al traiectoriei (ESP).

Arhitectura hidraulică ASR este prezentată în figura 4: se adaugă pe fiecare circuit un etaj de electrovane de izolare între cilindrul principal de frână și circuitul ABS; odată activat acest etaj, pompa ABS aspiră lichid prin intermediul cilindrului principal de frână și pune circuitul sub presiune. Presiunea ce acționează asupra frânelor de roată este astfel pilotată de către electrovanele ABS.

Antipatinajul a apărut la sfârșitul anului 1995, pe vehicule germane, cu tracțiune spate.

3.2 . Sistemele de control al traiectoriei

Controlul traiectoriei (ESP = Electronic Stability Program) permite corectarea traiectoriei vehiculului, prin frânare selectivă a roților și reducerea cuplului motor (fig. 5).

Pentru aceasta, se măsoară comportamentul dinamic al vehiculului (viteza roților, viteza vehiculului angajat pe traiectorie și accelerația transversală) și se compară cu un comportament de referință calculat având ca date de intrare unghiul volanului și viteza. Sistemul intervine atunci când sunt identificate diferențe între comportamentul real al vehiculului și comportamentul de referință.

Deși costul sistemului este încă important, el a devenit obligatoriu în Europa, fiind aplicat pentru vehiculele nou apărute din noiembrie 2011, urmând ca toate vehiculele fabricate începând cu noiembrie 2014, să fie echipate cu acest sistem.

3.3. Sistemele de urmărire automată a unui vehicul

Utilizarea unui radar pentru supravegherea traficului, instalat în partea din față a vehiculului, permite reperarea unui vehicul țintă și reglarea distanței față de acesta (accelerarea și frânarea automată). Acest

tip de sistem a fost pus pe piață relativ recent; prețul captatorilor limitează încă dezvoltarea acestuia numai pe anumite segmente de vehicule.

De remarcat continuarea cercetărilor cu aceste sisteme pentru detectarea situațiilor potențiale de crash, sisteme care permit activarea frânării de urgență („collision avoidance system”): de la 10 la 40% dintre accidentele din intersecții ce implică un vehicul care nu are prioritate de trecere, ar fi astfel evitate [1]

4. NOILE TEHNOLOGII

4.1 . Frânarea decuplată (Brake By Wire)

Acest principiu constă în decuplarea completă a pedalei de frână de acțiunea aplicată frânei. Prima etapă corespunde la EHB (EHB = Electro Hydraulic Brake – figura 6), în situația de sistem în pană, în care se păstrează identică o legătură hidraulică între frâne și pedală.

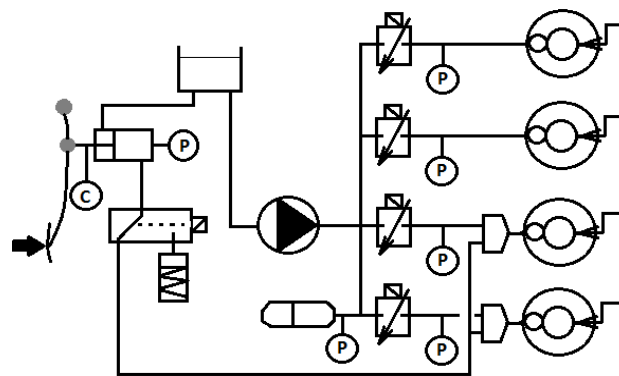


Fig. 6. Sistem electro-hidraulic de comandă a frânării (EHB).

În modul normal, se întrerupe comunicarea între cilindrul principal emițător și sistem, se măsoară deplasarea pedalei cât și presiunea generată de către

cilindrul principal emițător și este generată presiunea în frâne prin intermediul unor electrovalve analogice pornind de la comanda principală și de la alți captatori care echează vehiculul. Captatorii sunt aceiași cu cei ai sistemului ESP. Presiunea generată este distribuită de un grup moto-pompă echipat cu un acumulator de înaltă presiune (IP) cu azot ce asigură o frânare foarte reactivă și foarte eficace. Datorită volumului disponibil în acumulator, sistemul nu mai este sensibil la încălzirea și la absorbția frânelor dat de schimbarea poziției pedalei (cursa pedalei).

Principalul inconvenient al acestui sistem este legat de siguranța în funcționare, din cauza numeroșilor captatori și electrovalve care sunt puse în joc. Ca și avantaj, în funcționarea ABS-ului nu se mai resimt pulsațiile pedalei. Debitul electrovalvelor sunt disponibile imediat, ceea ce permite optimizarea timpilor de răspuns.

De asemenea, se pot forța limitele de stabilitate ale sistemelor de frânare convenționale și se permite echiparea frânelor cu garnituri de fricțiune de tip diferit, având un coeficient de frecare relativ redus la început dar constant la variații de temperatură, ceea ce permite creșterea de manieră sesizabilă a duratei de viața a garniturilor.

Comparativ cu soluțiile actuale, deja foarte performante, acest sistem oferă un anumit număr de noi

posibilități (bineînțeles că în limitele posibilităților tehnologice), dar costul lor rămâne important.

Acest tip de sistem este în dezvoltare la furnizorii de echipamente de frânare și echează deja vehiculele anumitor constructori. Optimizarea arhitecturii, în sensul optimizării acesteia, va mai continua și în următorii ani.

4.2. Frânarea Electro-Mecanică (EMB)

Este vorba de un sistem fără hidraulică, aflat încă în fază de studii. Funcționarea EMB (Electro Mechanical Brake – figura 7) se bazează pe un motor electric fără perii, ce utilizează un tren epicycloidal și un șurub cu bile ce acționează etrierul de frână. Sistemul este instalat pe fiecare frână pentru a acționa direct strângerea plăcuțelor. Acest sistem implică instalarea unui număr important de conectori și utilizarea de cabluri electrice de secțiune importantă, necesitând generalizarea standardului de 42V pe vehicul. Pe de altă parte, recurgerea la EMB implică o suprasarcină de 2 kg, la nivelul fiecărei frâne.

Interesul pentru o atare soluție, prin prisma raportului costuri/prestație, este destul de slab perceput, în prezent. Această tehnologie poate fi eventual considerată pe termen mediu/lung (aproximativ anul 2020), în timp ce EHB-ul este deja prezent la anumiți constructori de automobile.

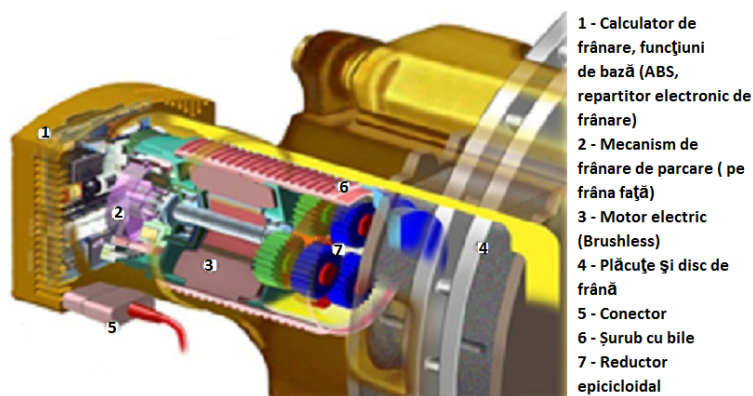


Fig. 7. Sistem Electro-mecanic de comandă a frânării, (EMB).

5. CONCLUZII

Sistemele de frânare ale automobilelor au evoluat semnificativ în ultimii ani. Aceste evoluții vor continua și chiar se vor accelera, în anii care vin. Optimizarea frânelor roților va continua în domeniul zgomotelor și vibrațiilor, cuplurilor reziduale și uzurii. Creșterea performanțelor și reducerea costurilor în domeniul electronicii permit deja răspândirea largă a sistemelor ESP sau a sistemului „brake by wire”; funcțiuni asociate, mai evolute, vor urma.

Este poate posibil ca frânarea să devină electrică, în totalitate, mâine? O arhitectură electronică tolerantă la defecte ar părea fezabilă astăzi [2]. Rămâne

de dezvoltat aceste sisteme cât și frânele asociate propriu-zise, cu acționare electrică. Vom mai vorbi despre aceasta, probabil la sfârșitul actualului deceniu.

BIBLIOGRAFIE

- [1] S. Alleaume, C. Thomas, T. Perron, J.Y. Le Coz. *Caracteristici des freinage d'urgence de voitures en accidents réels*, FISITA, Paris, 2001.
- [2] Ross T. Bannatyne. *Advances and Challenges in Electronic Braking Control Technologie*, SAE982244, San-Francisco, 1998.
- [3] Rudolf Limpert. *Brake design and safety*, SAE International, 2011.
- [4] Regulamentul ECE - ONU nr. 13H.
- [5] Directiva CEE nr. 71/320.

Despre autori

Drd. ing. **Romeo ȘTEFAN-IONESCU**

Renault Technologie România

Absolvent al secției Autovehicule rutiere din cadrul Universității din Pitești, în anul 1982. Din anul 2011, șef proiect competențe în inginerie, în cadrul Renault Technologie Romania. Experiență importantă în dezvoltarea de sisteme șasiu și managementul de proiect. E-mail: romeo.stefan-ionescu@renault.com

Prof. dr. ing. **Anghel CHIRU**

Universitatea „Transilvania” din Brașov

Absolvent a secției de automobile și tractoare a Universității din Brașov, în anul 1972; este doctor inginer din anul 1986. Este profesor universitar al Universității „Transilvania” din Brașov, din anul 1993. Membru al societăților SIAR (vicepreședinte), SAE, FISITA. Conducător de doctorate, din anul 2000, în domeniul Ingineriei Mecanice. E-mail: achiru@unitbv.ro

Ing. **Adrian ROSESCU**

Renault Technologie România

Absolvent al secției Autovehicule rutiere din cadrul Universității din Pitești, în anul 1993. Din anul 2011, șef proiect Viață serie în cadrul Renault Technologie România. Experiență importantă în concepția suprastructurilor caroserie, a sistemelor șasiu și a managementului de proiect. E-mail: adrian.rosescu@renault.com