A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
*„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”*
SEBEȘ, 2017

# VEHICULELE ELECTRICE, TRECUT, PREZENT ȘI VIITOR

Virgil MOLDOVAN, George ARGHIR, Elvira FILIP

## LES VĔHICULES ÉLECTRIQUES, PASSÉE PRESENT ET AVENIR

Il s’agit en principal, des voitures actionnés par la force électromotrice de moteur(s) électrique(s) alimentée soit par une batterie électrique, soit par une pile a combustible (hydrogène ou méthanol) soit actionnés par un moteur électrique en combinaison avec un moteur thermique classique, *Wankel,* ou *Stirling* ainsi nommées *hybrids.* Tel sorte des véhicules sont fabriquées par des compagnies de *USA, d’Europe, Chine, Japon*.

Mots-clefs: véhicules électriques, véhicules hybrides, moteurs électriques, batteries électriques, pile a combustible
Cuvinte cheie: vehicule electrice, vehicule hibride, motoare electrice, baterii electrice,pile de combustie

### 1. Istoric

Autovehiculul electric a apărut la mijlocul anilor 1800. A ţinut recordul de viteză terestră până în 1900. *Thomas Alva Edison* de exemplu, poseda unul din 1903. În 1899, 90 % dintre taxiurile din New York erau electrice. Flota de maşini fusese construită de compania Electric Carriage and Wagon din Philadelphia.

Acţionarea electrică a început cu o mică cale ferată comandată cu un motor electric în miniatură, construit de *Thomas Davenport* în 1835. În 1838 scoţianul *Robert Davidson* a construit o locomotivă electrică, care a atins viteza de 4 mph. În Anglia un patent a fost acordat în 1840 pentru folosirea șinelor pe post de conductoare și un patent american a fost editat de *Lille si Colten* în 1847. Între 1832 și 1839 *Robert Anderson* a inventat primul vagon electric, alimentat cu baterii primare nereîncărcabile.

Prima aplicaţie comerciala a unui automobil a avut loc în 1897 când *Electric Carriage & Wagon Company din Philadelphia* a construit taxiuri pentru parcul auto al New York-ului. In 1916, *Woods* a inventat prima mașină hibridă, combinând motorul electric cu cel cu combustie internă.

Începutul secolului XX a fost apogeul automobilului electric în America urmat și de decăderea sa. Lovitura finală au dat-o producătorii automobilelor cu combustie internă, prin *Henry Ford.* Prin producția în masă a automobilelor acestea costau mai puţin de jumătate decât orice mașină electrică. Automobilul electric a intrat în declin până în anii 60.

Criza petrolieră a generat interes pentru descoperirea altor carburanţi. Legile noi au influenţat constructorii de automobile să dezvolte prototipuri ale automobilului electric. În Norvegia vehiculele cu zero emisie sunt scutite de taxe. Vehiculele electrice devin populare printre utilizatorii privați. Din 1985 până în 1995 exista chiar un concurs anual la care participau numai vehicule electrice solare. Vehiculele electrice sunt scutite de taxe, fiind cele mai vândute. În majoritatea orașelor din Regatul Unit, camioanele pentru transport de produse lactate sunt electrice. Un grup pe nume *Battery Vehicle Society* organizează regulat curse și evenimente pentru vehiculele construite de acesta. Inventatorul *Clive Sinclair* a dezvoltat un autovehicul extrem de ieftin, cu 3 roți. În Italia toate autovehiculele electrice sunt scutite de taxe și au o reducere substanțială la asigurare. Accesul în zonele istorice din centrele anumitor orașe, este permis numai cu vehicule electrice.

## 2. Generalităţi

Orice automobil cu motor electric este considerat automobil electric. Sursa de alimentare, aflată pe vehicul, uzual, este o baterie de acumulatoare electrice.

Automobilele electrice au, faţă de cele cu motoare termice, o serie de avantaje: reducerea drastică a poluării chimice și fonice; posibilitatea utilizării unor sisteme de acţionare sofisticate; realizarea sistemelor de frânare antiblocante; frânare recuperativă; acționare individuală a roţilor cu eliminarea diferențialului mecanic.

Principalele probleme pe care încă le pun automobilele electrice și care, îngreunează, relativ proliferarea acestora sunt: densitatea de energie și puterea acumulatoarelor electrice care este semnificativ mai scăzută decât a combustibililor (automobilul pe benzină are densitatea de energie de 10500 Wh/kg, iar automobilul electric cu acumulator cu plumb-acid are 161 Wh/kg); autonomia automobilelor electrice este inferioară automobilelor clasice: 150-250 km, faţă de 400-800 km; iar viteza maximă a automobilelor electrice (100-130 km/h) este mai scăzută decât a automobilelor clasice (circa 200 km/h); accelerațiile automobilelor electrice sunt inferioare automobilelor clasice; sunt necesare staţii de încărcare a bateriilor de acumulatoare.

Schema bloc a unui automobil electric este redată în figura 1.

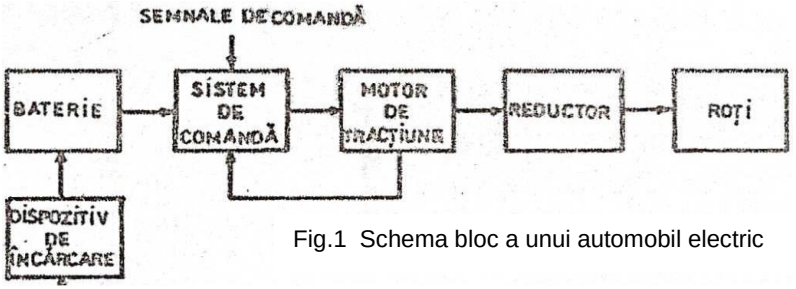


Fig.1 Schema bloc a unui automobil electric

Pentru o baterie dată, autonomia crește dacă pierderile în mecanismul de acţionare sunt mai scăzute, iar masa sistemului este mai redusă; reducerea pierderilor din mecanismul de acționare și utilizarea unor mecanisme de comandă și motoare electrice de tracțiune cu randamente ridicate. Mecanismul de acționare trebuie sa fie cât mai ieftin posibil. Componentele acestuia trebuie să necesite întreținere redusă pe durata de viaţă a automobilului (150000-200000 km). Acesta trebuie să fie fiabil, rezistent la șocuri și vibrații.

### 3. Câteva modele de automobile electrice

Un exemplu de automobil electric prezentat în literatura de specialitate, este un vehicul de serie modificat (*Chevrolet Geo Prism*

*1994*), propulsat de un motor cu combustie internă (benzină). Modificările au dus la transformarea într-un automobil electric si au vizat motorul, ambreiajul cutia de viteză etc.

Al doilea exemplu de autovehicul electric se numește *Tesla Roadster, produs de Tesla Motors*, figura 2.

Fig. 2 Automobilul electric tip TESLA ROADTSTER

Datele sale tehnice: accelerarea de la 0 – 100 km/h sub 4 s, viteza de vârf de 200 km/h, accelerația este mereu instantanee. autonomia: 400 km pe o încărcare (mers combinat: oraș + autostradă).

Ca orice vehicul electric, nu are o mecanică atât de complexă ca unul ce folosește motor cu ardere internă, care are peste 100 de elemente mobile, în comparație motorul *Tesla Roadster* care are doar unul și anume rotorul. În concluzie, mașina transportă o greutate proprie mai mică și are mai puține piese ca filtre, ambreiaj, bujii, filtru de aer, pompa de apă, catalizator, toba de eșapament etc., toate aceste componente nefiind necesare unui autovehicul electric deci nici activitatea de service ce o incumbă.

La construirea unui vehicul electric foarte performant, cea mai mare provocare o reprezintă încă, bateriile. Sunt grele, scumpe și oferă o putere limitată. Au totuși o calitate care eclipsează toate aceste dezavantaje: e curat din punct de vedere ecologic. Blocul de baterii de *la Tesla Roadster*, reprezintă totuși o inovație, pe care au descoperit-o cei de la *Tesla Motors*, fiind cele mai avansate tipuri de baterii, folosind tehnologia bazata pe Litiu-Ion. Sunt mai ușoare, durabile, reciclabile și capabile sa dezvolte suficientă putere pentru a accelera autovehiculul de la 0 – 100 km/h în 3,9 secunde. Motorul are un randament de 85 –

95 %.*Tesla Roadster* are doar 2 viteze și nu are pedală de ambreiaj. Odată cuplată în viteza din schimbător, invertorul comandă motorul.

Majoritatea subsistemelor instalate pe *Tesla* Ro*adster* sunt comandate electronic sub supravegherea permanentă a unui calculator de bord. Toată partea de comandă este integrată unui dispozitiv care controlează cuplul motorului, reîncărcarea, frânarea recuperativă, monitorizează tensiunea furnizată de baterii, turaţia motorului și temperatura, prin utilizarea unui controler (figura 3). Controlerul este cea mai mare componentă montată sub capota unui automobil electric, figura 4.

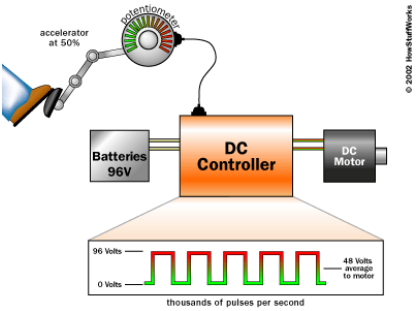

Fig. 3 Funcţionarea unui controler

Fig. 4 Controler, sub capotă

Dacă autovehiculul este echipat cu un motor de curent alternativ, se folosește un *invertor,* care transforma curentul continuu furnizat de baterii, în curent alternativ trifazat, utilizat după necesități. Motoarele de curent continuu sunt mai agreate.

Acționarea roților unui automobil electric poate fi: *individuală*, caz în care fiecare roată motoare este acționată de câte un motor; respectiv *colectivă*, la care un motor acționează un grup de roți. Soluția clasică de acționare a automobilelor electrice (utilizată și la automobilele cu motoare termice) este frecvent cea *colectivă*. Pentru ca, o dată cu transmiterea cuplului de la motor la roți, să se asigure și independența acestora este necesar un *diferențial mecanic*, existând diverse soluții pentru realizarea acestuia. Această soluție are o serie de dezavantaje: randamentul transmisiei este micșorat; diferențialul contribuie la creșterea greutății automobilului; un cost relativ ridicat, necesită o întreținere suplimentară.

Pentru înlăturarea acestor dezavantaje, la unele automobile electrice moderne, se preferă *acționarea individuală*, fiecare roată

având motorul său. În acest caz, cuplul poate fi transmis roților direct; sau prin angrenaje, eventual, prin intermediul unei transmisii cardanice respectiv prin angrenaj reductor, între motor și roată Cu toate că transmiterea directă a cuplului motor este mai simplă, ea nu este folosită decât în cazuri rare, când simplitatea construcției este hotărâtoare având ca dezavantaje necesitatea:demontării motorului pentru revizii; vitezele de circulație uzuale relativ reduse, implică motoare cu turații reduse; care au, la o putere dată, gabarite si greutăți mai mari decât la motoarele cu turații ridicate; motoarele electrice uzuale, din considerente de gabarit și de utilizare economică a materialelor active (cupru, fier), viteza periferică a rotorului trebuie să fie mai mare (circa 50 m/s); iar constructiv, să fie cel mult 70 % din diametrul roții. Viteza vehiculului trebuie să fie egală cu cel puțin 266 km/h, pentru ca motorul să fie bine utilizat.

Revenind la alimentarea motoarelor electrice a căror acționare se face, uzual, de la baterii electrice, se impune ca acestea să fie realizate prin formarea, în diverse conexiuni a mai multor elemente ca surse electrochimice care convertesc energia chimică în energie electrică. Aceasta constituie deocamdată partea slabă a unui autovehicul electric. Sunt câteva probleme ale bateriilor plumb-acid: sunt grele (un bloc de baterii poate cântări 500 kg); sunt voluminoase (autovehiculele devin robuste);au capacitate limitată (poate furniza între 12 – 15 kWh, ceea ce poate însemna o autonomie de 80 km); procesul de încărcare necesită timp îndelungat (aproximativ 10 h); au o durată de viață relativ scurtă (3 – 4 ani, sau 200 de reîncărcări); sunt destul de scumpe (aproximativ 2000 $). În cazul acumulatoarelor cu plumb-acid uzuale, apa din electrolit se pierde în timp (prin evaporare, precum și prin descompunerea ei în $H_2$ și $O_2$ care se degajă la electrozi); de aceea, ea trebuie completată periodic. Pentru evitarea sulfatării electrozilor, acumulatoarele trebuie reîncărcate imediat după descărcarea lor. De asemenea, are loc o autodescărcare (descărcare fără a avea conectată o sarcină) a acumulatoarelor, ceea ce impune reîncărcarea lor după perioade mari de neutilizare. Un avantaj al acestor baterii este că în general: sunt relativ ieftine; permit un număr relativ mare de cicluri de încărcare – descărcare; folosesc pentru electrozi plumbul care este disponibil în cantități mari; se pot realiza în varianta *fără întreținere* iar la ieșirea lor din funcțiune, plumbul din electrozi poate fi ușor reciclat. Unele dezavantaje sunt: densitatea redusă a energiei, ceea ce implică greutăți și volume mari; puterea lor scade odată cu descărcarea; capacitatea și energia lor scad, la

temperaturi scăzute; oferă posibilități limitate de încărcare rapidă (încărcarea lor completă se face pe timp de câteva ore), sunt sensibile la supracurenți (de încărcare sau descărcare), întreţineri pretenţioase.

Tehnologiile moderne permit realizarea acumulatoarelor cu plumb-acid iîn așa numita variantă *fără* în*treținere*. În acest caz acumulatoarele sunt capsulate, au o construcție adecvată a electrozilor, iar electrolitul este *solidificat*, fie fixat într-un gel, fie absorbit în materiale poroase de tip *vată*. La aceste acumulatoare, pierderile de apă sunt neglijabile, autodescărcarea este foarte redusă (circa 35 % din capacitatea nominală, după 12 luni), iar sensibilitatea lor la descărcări ocazionale puternice, la vibrații și la temperaturi joase, este mult scăzută. Deși folosesc electrozi *solidificați*, densitatea de energie mai ales la descărcări rapide și temperaturi scăzute este mai mare decât a acumulatoarelor uzuale. Desigur toate aceste se obțin cu prețul mai ridicat.

Bateriile plumb-acid pot fi înlocuite cu cele din nichel și hidruri metalice. Autonomia autovehiculului se va dubla, iar bateriile au o durată de viață de aproximativ 10 ani, dar costul bateriilor este de 10 – 15 ori mai ridicat decât cel al bateriilor plumb-acid. Aceste baterii costă aproximativ 20000 – 30000 $, iar cele cu plumb-acid costă doar 2000 $.

Acumulatorii Ni-Cd sunt caracterizați teoretic prin: tensiunea unei celule: 1,3 V; densitatea de energie: masică 209 Wh/kg; volumică 693 Wh/l. Avantaje: permit un număr foarte mare de cicluri de încărcare-descărcare; puterea lor se menține relativ constantă după o descărcare parțială; au o comportare foarte bună la temperaturi scăzute; oferă posibilitatea reîncărcării rapide; nu necesită întreţinere (acumulatoare capsulate); sunt produse în serie. Dezavantaje: sunt scumpe (datorită costului ridicat al cadmiului); pun probleme ecologice, cadmiul fiind toxic; încărcarea lor pune probleme la temperaturi ridicate.

Acumulatori Na-S, au: tensiunea unei celule: 2,1 V; densitatea de energie: masică 792 Wh/kg; volumică 1196 Wh/l. Principalele obstacole în utilizarea acestor baterii pe automobilele electrice sunt numărul încă redus de cicluri încărcare–descărcare. Dintre celelalte tipuri de acumulatoare, perspectiva de a fi utilizate, datorită energiilor lor specifice ridicate, o au cele cu sodiu-sulf (Na-S), precum și cele bazate pe litiu (Li).care necesită o temperatură ridicată (intre 300 – 400 $^0$C; uzual 330 $^0$C); o izolare termică compacta și eficiență. Descărcare vacuumată și puterea specifică scăzută la funcționarea continuă.

Problemele pe care le au bateriile arătate explică de ce se pune accent asupra dezvoltării *pilelor de combustie*. Acestea sunt mult mai

mici, mai ușoare, cu poluare chimică redusă, randament energetic ridicat (60 %), densitate masică a energiei ridicată și se reîncarcă foarte rapid

Din cele arătate este evident că autovehiculele viitorului totuși vor folosi motoare electrice pentru tracțiune, iar energia electrică necesară va fi produsă de *pilele de combustie* cu condiția posibilității producerii hidrogenului la nivel industrial și la prețuri rezonabile

În cazul alimentării electrice din surse exterioare utilizând baterii care se prevede că vor fi utilizate în continuare, stațiile de încărcare constituie încă o problemă mai ales ca număr cel puțin în țara noastră. Aceasta rezulta și din figura 5

Fig. 5 Staţii de încărcare în România (stânga) și Europa de Vest, după compania Tesla Motor (dreapta)

## 4. Concluzii

■ Avantajele folosirii autovehiculelor electrice în locul celor cu motoare cu combustie internă sunt: costuri de exploatare aproape gratuit (circa 1 euro/100 km); se pot conduce ușor; întreținere simplă, ușor de manevrat în parcare și de încărcat bateriile; nu fac zgomot și nu emană fum, oxid de carbon metale grele și alte noxe dăunătoare mediului și vieții; nu consumă suplimentar la staționarea temporară în trafic la semafoare etc.; au posibilitatea de utilizare a unor sisteme de acționare sofisticate, oferite de cele mai moderne realizări în domeniul acționărilor electrice; posibilitatea realizării comode a mecanismelor de frânare antiblocante, prin utilizarea frânării electrice; dacă aceasta este recuperativă, se face și o importantă economie de energie; posibilitatea de acționare individuală a roților (eventual, prin înglobarea motoarelor de electrice în roți, realizând așa numitele *motoroți*; simplificarea mecanismelor de transmisie, cea mai importantă fiind eliminarea

diferențialului mecanic; au cuplu constant la variații ale turației în limite mari.

■ Dezavantaje: autonomie apreciată încă redusă; au cost de achiziție încă ridicat; bateria de acumulatori are o densitate de energie relativ scăzută, o durată de viață relativ mică, limitată de numărul de cicluri încărcare – descărcare, timpi apreciați încă mari, de încărcare (de ordinul orelor), pentru o încărcare completă, normală cheltuielile pentru întreținerea bateriilor sunt destul de ridicate; sunt necesare stații de încărcare a bateriilor, care însă pot fi compensate fie cu baterii preîncărcate, pentru a fi schimbate cu cele descărcate de pe automobile, ceea ce pune însă probleme de depozitare și de asigurare a unei diversități de baterii, în funcție de tipurile de automobile existente,

■ Aspectele arătate nu au frânat fabricația acestor automobile electrice, după cum rezultă din câteva date. În prezent sunt fabricate de companii consacrate precum *Tesla Motors, Renault, Citroen, Opel, Bollore, Nissan* și numeroase companii chineze etc.

În 2012 în Franța au fost înmatriculate 5643 vehicule particulare și 3651 utilitare practic dublu față de anul anterior iar în 2013 alianța *Renault Nssan* livrează peste o sută de mii astfel de vehicule. Norvegia depășește Franța astfel că din majoritatea vehiculelor electrice din lume, Europa conține 64 % din total. Elveția avea în 2015 peste 3880 asemenea vehicule iar în 2014 Norvegia ajunge la peste 25000 bucăți. Europa, în ansamblu, avea în anul 2014, 65000 unități majoritatea în țările nordice și Franța. China reprezintă o surpriză ca producător de vehicule electrice având în program realizarea a 500000 unități în 2015 între care domină mărcile *Byd, Cery* etc.

■ Se preconizează producții depășind anual, un milion de unități surclasând sub acest aspect USA unde, este fruntașă firma californiană *Tesla Motors.* Printre producțiile, mai ales, de vehicule electrice, se afirmă pe lângă cele de mici dimensiuni primele camioane electrice. Apar în 1997 în Anglia și USA urmate de autobuse electrice fabricate de exemplu în China etc. Fabricarea vehiculelor electrice a impulsionat corespunzător și pe cea de stații de încărcare, de baterii electrice, respectiv unități de mentenanță specifice.

■ Preocupările prezente și viitoare (vizând anul 2050) ale specialiștilor sunt orientate și spre automobilele electrice *inteligente* cuplate cu rețele electrice similare, alimentate cu energii renivelabile, benefice pentru mediu cu avantajele lor, de asemenea spre automobilele *autonome* de ce nu ***zburătoare,*** în prezent, în faza de experimentare.

■ Socotind avantajele dar și impedimentele privind acționarea electrică în special la automobilele fabricate până în prezent, este dificil de tras o concluzie definitivă privind gradul de înlocuire a vehiculelor clasice cu motoare termice pe benzină sau diesel, cu cele electrice. Aceasta pe lângă cele arătate mai sus dar și datorită mentalităților, care sunt încă insuficient alimentate cu argumente convingătoare.

Aprecierea și practica generală este totuși favorabilă procesului de înlocuire, în discuție, care se va accelera.

Prof.univ.em.Dr.Ing. Virgil MOLDOVAN
Prof.univ.em.Dr.Ing.dipl.fiz. George ARGHIR
Universitatea Tehnică din Cluj Napoca
Ing Elvira FILIP
șef Secție Sinterizate, SINTEROM Cluj
membri AGIR