

Laurențiu RACILĂ Ilie DUMITRU Lucian MATEI

Laurențiu RACILĂ Ilie DUMITRU Lucian MATEI

AUTOVEHICULE ELECTRICE ȘI HIBRIDE



**EDITURA UNIVERSITARIA
CRAIOVA, 2025**

Referenți științifici:

Prof.univ.dr. Nicolae ISPAS

Conf.univ.dr. habil. Călin ICLODEAN

Copyright © 2025 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

RACILĂ, LAURENȚIU

Autovehicule electrice și hibride / Laurențiu Racilă,
Ilie Dumitru, Lucian Matei. - Craiova : Universitaria, 2025

Conține bibliografie

ISBN 978-606-14-2238-8

I. Dumitru, Ilie

II. Matei, Lucian

629

© 2025 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețelele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare.

Capitolul 1

Introducere în autovehiculele electrice și hibride

Problemele de mediu, precum și cele economice și de sănătate sunt suficiente de convingătoare pentru proiectarea, producerea și dezvoltarea unor autovehicule curate, eficiente și durabile pentru transport. Prin aplicarea tehnologiilor alternative de transport la nivel industrial, comercial și personal pot fi obținute avantajele ecologice și economice importante. Autovehiculele de pasageri constituie parte integrantă din viața noastră de zi cu zi, dar emisiile generate de autovehiculele echipate cu motoare cu ardere internă (MAI sau ICE - Internal Combustion Engine) sunt o sursă majoră de poluare urbană, poluare care provoacă, printre altele, efectul de seră ce duce în final la fenomenul de încălzire globală.

Numărul tot mai mare de automobile aflate pe șosele în fiecare an nu face decât să crească nivelul de poluare. Acest nivel de poluare este dat și de eficiența autovehiculelor echipate cu motoare cu ardere internă, acestea generând mai multă poluare în comparație cu autovehiculele cu propulsie hibridă sau electrică.

Dacă dorim să analizăm eficiența globală între cele două tipuri de autovehicule (ICE vs. EV), plecând de la extragerea și prelucrarea țițeiului în combustibil până la elementul final, care este autovehiculul, eficiența în privința autovehiculelor electrice și hibride se diminuează, nemaifiind o diferență semnificativă, cele două tipuri de autovehicule având o eficiență comparabilă. Ceea ce le diferențiază însă, este faptul că emisiile datorate producerii de energie sunt localizate la nivelul uzinelor, fiind mult mai ușor de reglat și eficientizat emisia de gaze cu efect de seră la nivelul unei fabrici decât la nivel individual, pentru fiecare autovehicul echipat cu motor termic răspândite la nivel global.

În acest fel populația urbană nu mai este expusă la emisiile generate de producerea a tot ceea ce înseamnă producerea curentului necesar fabricării și încărcării bateriilor autovehiculelor electrice și hibride, acestea fiind situate în afara zonelor urbane. Mai mult, producerea de energie electrică poate fi realizată din surse regenerabile, cum ar fi apa (energie hidroelectrică), vântul (energie eoliană) sau soarele (energia solară), surse care sunt prietenoase cu mediul.

Autovehiculele electrice (VE sau EV – Electric Vehicle) sunt acționate de un motor electric prin intermediul electronicii de putere și a unui controler, fiind alimentate de la o sursă de energie îmbarcată. Acest tip de autovehicul oferă posibilitatea de a avea un mediu mai curat și un sistem de transport mai eficient și

prietenos cu mediul. Vehiculele electrice practic nu au emisii proprii de gaze, prin urmare sunt capabile să reducă problema poluării urbane într-un mod foarte eficient, deci vehiculele electrice sunt singurele vehicule cu emisii zero (VEZ sau ZEV – zero emission vehicle).

1.1. Scurtă istorie a autovehiculelor electrice și hibride

Ideea folosirii motoarelor electrice pentru a acționa un autovehicul a apărut imediat după inventarea motorului electric. Începuturile sunt chiar mai vechi, când fizicianul italian Alessandro Volta, bazându-se pe experimentele lui Luigi Galvani (tot italian) din 1782, a inventat bateria electro-chimică (pila voltaică) în anul 1800 (figura 1.1) [1].

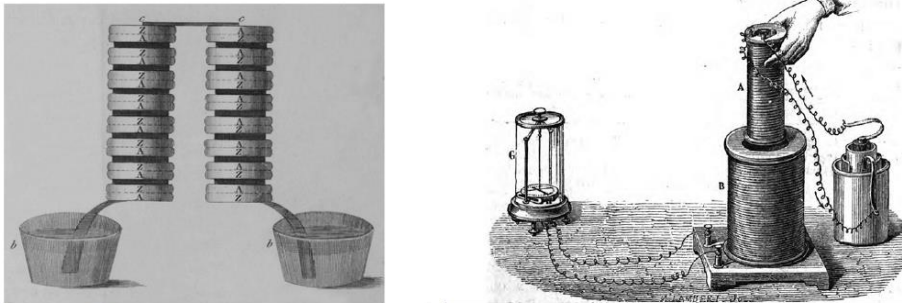


Figura 1.1. Pila voltaică și experimentul lui Faraday

Danezul Hans Christian Ørsted descoperă în 1820 că un curent electric creează un câmp magnetic, care la rândul lui exercita o forță asupra unui magnet. În același an, André-Marie Ampère enunță prima formulare a interacțiunii electromagnetice, care descrie producerea forței mecanice prin interacțiunea dintre un curent electric și un câmp magnetic. În 1831 omul de știință englez Michael Faraday a demonstrat principiul inducției și realizează primul generator electric de curent continuu.

În 1834, americanul Thomas Davenport, plecând de la studiile cercetătorului englez William Sturgeon din 1832, construiește un motor de curent continuu (DC motor) și îi demonstrează potențialul prin construirea unui model redus de tren electric.

Toate aceste descoperiri duc la realizarea în 1842 a primei locomotive electrice de către inventatorul scoțian Robert Davidson (figura 1.2), capabilă să circule cu 4 mph (4 mile pe ora, cca 6,5 km/h), utilizând baterii pe baza de Zinc [1].

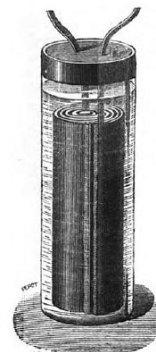


Figura 1.2. Afișul locomotivei Davidson (a) și bateria lui Gaston Planté

Motoarele electrice construite în acea perioadă nu au avut un succes comercial din cauza inexistenței unui sistem de producere și distribuție a energiei electrice.

Costul și eficiența bateriilor vor fi semnificativ îmbunătățite după descoperirile cercetătorului francez Gaston Planté, care realizează prima baterie cu plumb/acid (lead-acid battery) în 1859 (figura 1.2). Camille Alphonse Faure în 1881 și Henri Owen Tudor în 1888 vor îmbunătăți acest tip de baterie, care va deveni de acum principalul tip de baterie/acumulator comercial.

Primul autovehicul electric triciclu (pe trei roți) a fost realizat în 1881 de francezul Gustave Trouvé [1], fiind primul autovehicul electric ce putea fi manevrat în timpul unei deplasări pe un drum normal, nu pe șine de cale ferată (figura 1.3).

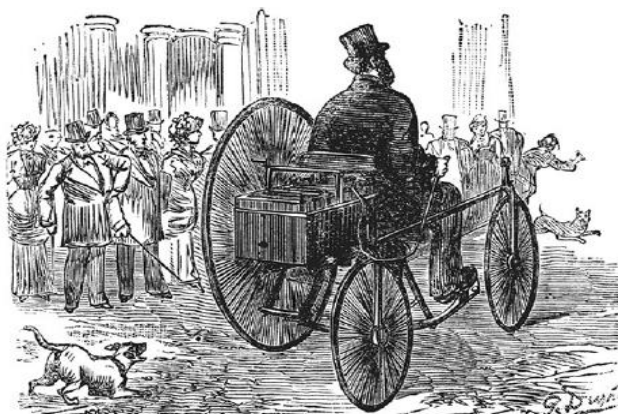


Figura 1.3. Triciclu electric Trouvé

Câțiva ani mai târziu, în 1886, germanul Karl Benz construiește primul autovehicul propulsat cu benzină, Benz Patent-Motorwagen [19], tot pe trei roți, fiind primul autovehicul acționat cu motor cu ardere internă (figura 1.4). Din acest moment începe o concurență acerbă între cele două sisteme de propulsie, electric și termic.



Figura 1.4. Triciclul Benz cu motor cu combustie internă

Italianul Galileo Ferraris în 1885 și sârbo-americanul Nikola Tesla în 1887 inventează și patentează în mod independent motorul cu inducție/asincron (motor de curent alternativ, sau AC motor).

În 1884 Thomas Parker construiește un autovehicul electric alimentat de baterii/acumulatori realizați tot de el, dar prima fotografie cu acest autovehicul datează din 1895 (figura 1.5a) [20].

În 1888 germanul Andreas Flocken construiește ceea ce este considerat primul autovehicul electric pe patru roți, Flocken Elektrowagen, în fabrica sa Maschinenfabrik A. Flocken din Coburg (figura 1.5b) [1].

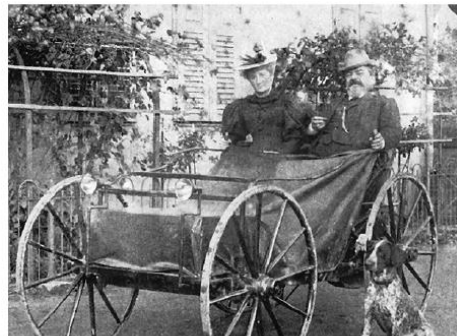


Figura 1.5. Autovehiculul Parker (a) și primul autovehicul electric pe patru roți Flocken Elektrowagen (b)

În anul 1897 apar primele utilizări comerciale ale autovehiculelor electrice, existând la New York o companie de taxiuri electrice, acestea ieșind în evidență față de cele cu motor termic prin silențiozitatea lor.

Interesul pentru autovehicule crește foarte mult spre sfârșitul anilor 1890 și începutul anilor 1900, perioadă care este considerată epoca de aur a autovehiculelor

electrice. Principala problemă a autovehiculelor electrice (și atunci, ca și acum) era autonomia lor și lipsa unei infrastructuri adecvate de reîncărcare, principala sursă electrică pentru încărcarea bateriilor fiind rețeaua de acasă. În jurul anului 1900 existau chiar și magazine de schimbare a bateriilor în SUA (figura 1.6) [15].

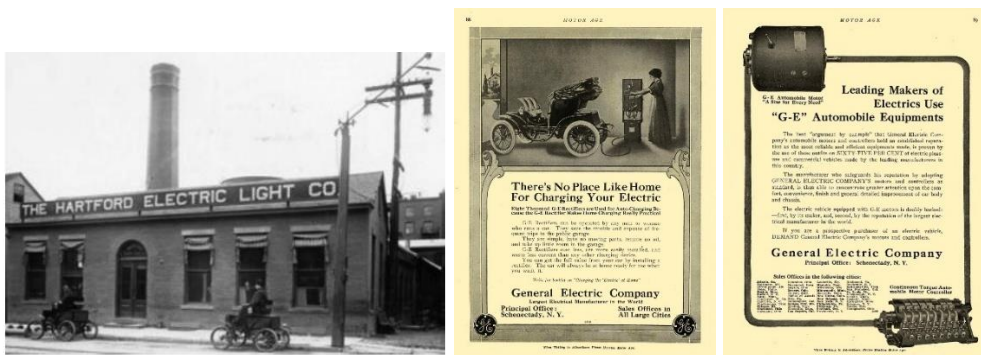


Figura 1.6. Magazin pentru schimbarea bateriilor și reclame la încărcarea autovehiculelor electrice acasă, respectiv la motoare electrice și controlere pentru autovehicule electrice

În această perioadă de mare dezvoltare a vehiculelor electrice, începe și o cursă a recordurilor de viteză auto, organizată de revista franceză *La France Automobile*. Primul record de viteză de 39,24 mph (cca. 63 de km/h) este stabilit de către un francez, Count Gaston de Chasseloup-Laubat, care conducea un vehicul electric construit în Franța numit *Jeantaud Duc* (figura 1.7) [1].

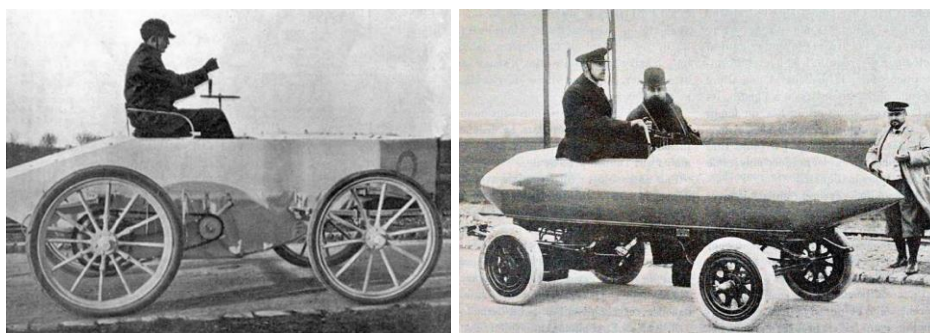


Figura 1.7. Cele mai rapide vehicule ale secolului XIX, *Jeantaud Duc* și *La Jamais Contente* au fost electrice

A fost perioada în care aproape toate recordurile erau stabilite de către vehicule electrice, primul record al unei mașini cu combustie internă fiind al americanului William Kissam Vanderbilt II în anul 1902.

În 1899 bariera de 100 km/h este depășită, tot de un autovehicul electric, *La Jamais Contente* („Niciodată Mulțumită”), condusă de belgianul Camille Jenatzy (poreclit Diavolul Roșu), aflat într-o permanentă concurență cu francezul Count Gaston de Chasseloup-Laubat (tabelul 1.1) .

La Jamais Contente era foarte avansată pentru vremea ei, având o caroserie aerodinamică realizată din aliaj de Aluminiu, pentru a compensa greutatea bateriilor, fiind propulsată de două motoare de 24 kW.

A fost, de altfel, ultimul record realizat de către un autovehicul electric, toate recordurile ulterioare revenind autovehiculelor propulsate cu motoare cu aburi, motoare cu ardere internă, sau motoare de tip turbojet.

La sfârșitul secolului XIX, germanul Ferdinand Porsche (născut în Boemia germană, acum în Cehia), este angajat la fabrica Jacob Lohner din Viena, unde realizează primul autovehicul hibrid, „Semper Vivus” (figura 1.8).

Data	Locație	Pilot	Autovehicul	Motor	Viteză	
					mph	km/h
18 dec., 1898	Achères, France	Gaston de Chasseloup-Laubat	Jeantaud Duc	Electric	39,24	63,15
17 ian., 1899	Achères, France	Camille Jenatzy	GCA Dogcart	Electric	41,42	66,66
17 ian., 1899	Achères, France	Gaston de Chasseloup-Laubat	Jeantaud Duc	Electric	43,93	70,31
27 ian., 1899	Achères, France	Camille Jenatzy	GCA Dogcart	Electric	49,93	80,35
4 mar., 1899	Achères, France	Gaston de Chasseloup-Laubat	Jeantaud Duc Profilée	Electric	57,65	92,78
29 apr., 1899	Achères, France	Camille Jenatzy	CITA No 25 La Jamais Contente	Electric	65,79	105,88
13 apr., 1902	Nice, France	Léon Serpollet	Gardner-Serpollet Œuf de Pâques (Ou de Paste)	Abur	75,06	120,8
5 aug., 1902	Ablis, France	William Kissam Vanderbilt II	Mors Z Paris-Vienne	Combustie internă	76,03	122,44

Tabelul 1.1. Primele recorduri oficiale de viteză [1]

Acest prim autovehicul hibrid avea două motoare electrice încorporate în roțile față, fiecare având în jur de 2,5 – 3,5 CP. Acest tip de roată motoare electrică a fost inventată de Porsche pe când lucra la firma Bela Egger & Co. Electrical Company (devenită ulterior Brown Boveri și apoi ABB). Automobilul a fost prezentat pentru prima oară la Expoziția mondială de la Paris din 1900.

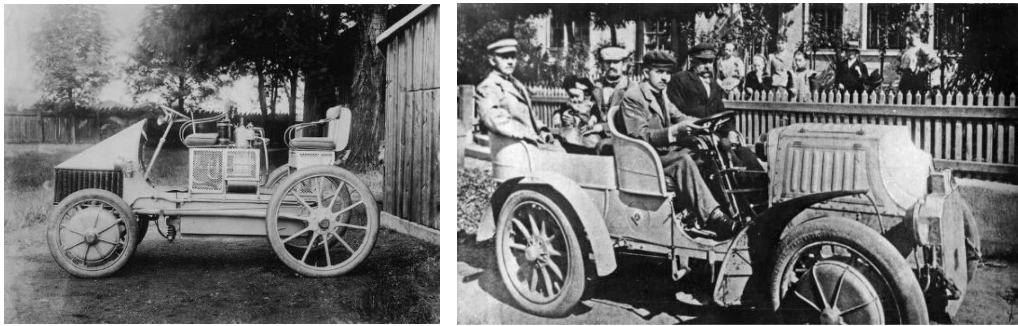


Figura 1.8. Primul autovehicul hibrid *Semper Vivus*, (la volan este Ferdinand Porsche)

A doua versiune a autovehiculului, numită Lohner-Porsche Mixte a fost realizată cu patru roți motoare, având o viteză de vârf de 60 km/h (figura 1.9a) [2]. Același principiu cu patru roți motoare s-a păstrat și pentru autovehiculul electric lunar *Lunar Roving Vehicle* (LRV) folosit în misiunile spațiale Apollo (figura 1.9b) [21].

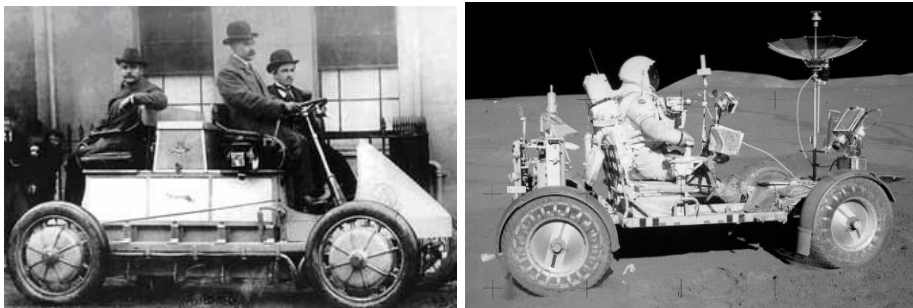


Figura 1.9. Varianta cu patru roți motoare Lohner-Porsche Mixte (a) și Lunar Roving Vehicle (b)

Preocupări au existat și în Belgia, unde în jurul anului 1900 începe comercializarea unui autovehiculului hibrid petrol/electric dezvoltat de către constructorul Pieper (figura 1.10) [1, 22].

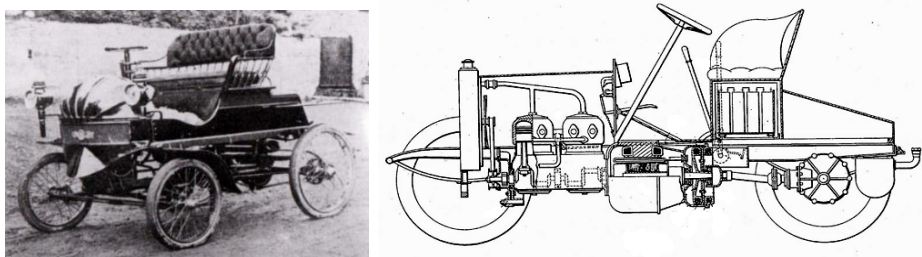


Figura 1.10. Autovehiculul petrol/electric Pieper

Dacă la sfârșitul secolului XIX autovehiculele electrice le depășeau pe cele cu ardere internă, începutul secolului XX va schimba aceasta dominație a autovehiculelor electrice, autovehiculele propulsate cu MAI devenind preponderente (tabelul 1.2).

Au fost anii de glorie ai autovehiculelor electrice, autovehiculele propulsate cu motoare cu ardere internă începând să se dezvolte într-un ritm mult mai rapid, dominând piața auto.

Anul	Electric	Benzina	Abur
1899	1.575	936	1.681
1904	1.495	18.699	1.568
1909	3.826	120.393	2.374
1914	4.669	564.385	-
1924	391	3.185.490	-

Tabelul 1.2. Vânzările de autovehicule în SUA în funcție de sursa de energie

Vârful vânzărilor de autovehicule electrice este atins în 1912, cu 30.000 de autovehicule vândute la nivel mondial. Factori precum apariția autovehiculelor cu motor cu ardere internă accesibile ca preț (Ford model T în 1908 era la jumătate de preț față de un automobil electric), renunțarea la pornirea la manivelă prin dotarea automobilelor cu demaror (inventat în 1912 de Charles Kettering), autonomia mult mai mare a autovehiculelor cu motor cu ardere internă, precum și dezvoltarea industriei petroliere, coroborate cu o infrastructură electrică precară sau chiar lipsa ei, războaiele mondiale și crizele economice, vor duce la diminuarea spre zero a autovehiculelor electrice și hibride, acestea rămânând la stadiul de prototipuri și autovehicule experimentale.

O revenire timidă se face în anii 60 – 70 ai secolului XX, pe fondul crizei petrolului și a dezvoltării puternice a industriei electrice și electronice. Apar societăți care modifică autoturismele cu MAI, transformând-le în autovehicule electrice.

În SUA, compania Henney Motor va produce cca. 100 de modele de automobile Henney Kilowatt, o mașină electrică bazată pe Renault Dauphine (figura 1.11). Acestea aveau o viteză maximă decentă pentru perioada respectivă, de 60 mph adică aproape 100 km/h și o autonomie de cca. 100 km, dar va exista o cerere mică pentru acest model și nu va fi un succes comercial [23].

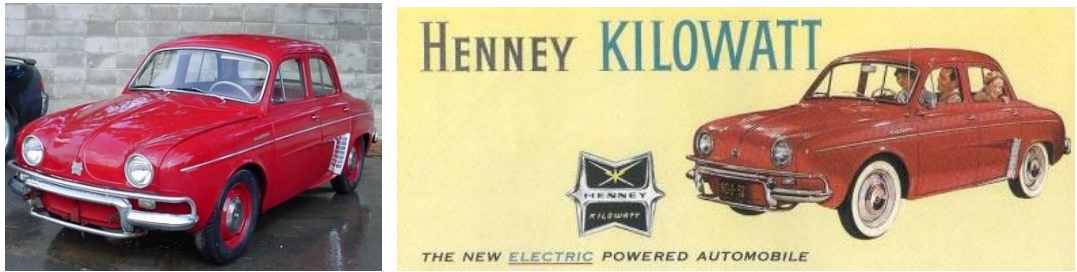


Figura 1.11. Autovehicul electric Henney Kilowatt

În 1969 General Motors realizează conceptul GM 512 (figura 1.12), o serie de trei mașini prototip: hibrid (albastră), electric (roșie) și cu MAI (galbenă). Cea de-a patra mașină (argintie) este prototipul GM 511, o mașină pe trei roți propulsată cu un motor pe benzină [24].

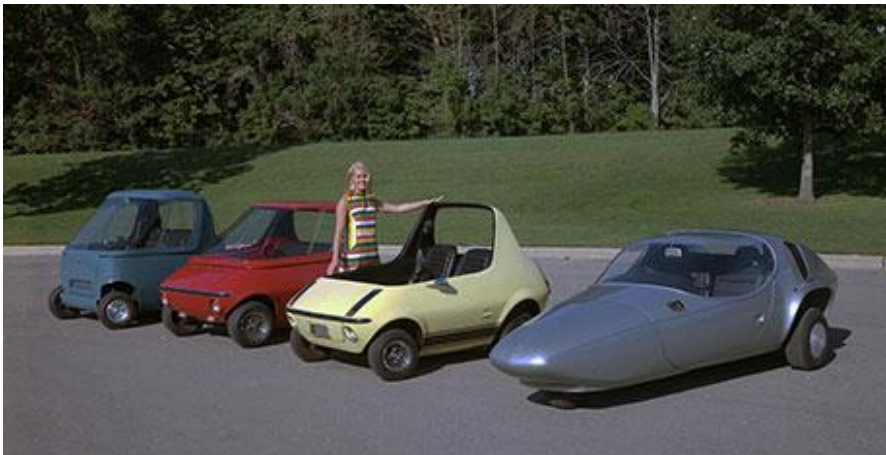


Figura 1.12. Autovehicule GM 512 hibrid, electric și cu combustie internă

În anii 70 societatea EVA (Electric Vehicle Associates) din Ohio-SUA produce autovehiculele experimentale electrice, printre care și Metro, bazat pe Renault 12 (figura 1.13) [25].



Figura 1.13. Autovehicul electric Metro

O revenire accentuată a autovehiculelor electrice și hibride se produce în anii 90, când GM lansează primul automobil electric modern pe piața auto. Autovehiculul EV1 a fost produs începând cu 1996, având inițial acumulatori cu plumb, și o autonomie de între 110 și 160 de km. Automobilul EV1 avea performanțe bune, accelerând de la 0 – 100 km în 8 s, având o viteză maximă de 160 de km/h (figura 1.14). În 1999 apare generația a doua a autovehiculului electric EV1 [26], bateriile fiind de data aceasta de tip nickel-metal hidrid (Ni-MH), având o autonomie între 160 și 220 de km. Până în anul 2002 s-au produs 1.117 de automobile EV1, dar prețul relativ mare de producție și faptul că bateriile trebuiau schimbate la 40.000 km au dus la retragerea de pe piață a acestui autovehicul electric.

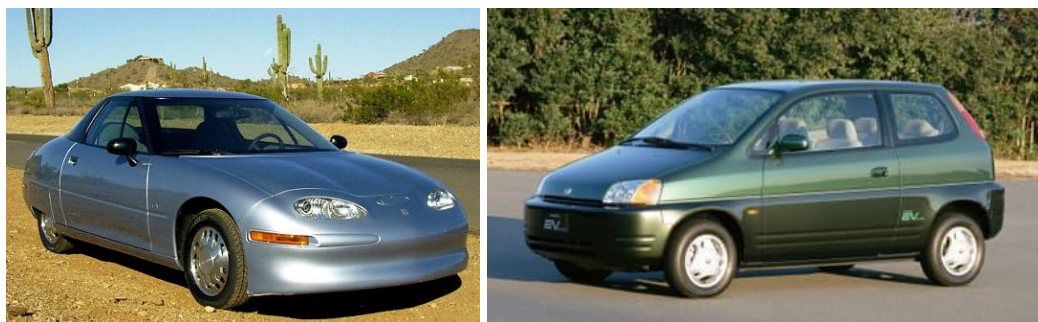


Figura 1.14. Autovehicul electric EV1 și Honda EV Plus

Un alt moment important din istoria recentă a autovehiculelor electrice a fost lansarea pe piață a modelului EV Plus, produs de Honda în 1997 (figura 1.14) [27]. Acesta avea un motor electric de 47 de kW și acumulatori Ni-MH, având o viteză maximă de 130 km/h și o autonomie de 160 de km. Aceste două modele nu au fost oferite spre comercializare, fiind propuse doar spre închiriere/leasing.

Piața auto a autovehiculelor electrice și hibride destinate publicului larg a fost marcată de două modele (figura 1.15): modelul hibrid Toyota Prius (1997) [28] și modelul electric Roadster [29] (bazat pe modelul Lotus Elise) produs de Tesla Motors (acum Tesla) începând cu 2006 (prima mașină a fost livrată în 2008).



Figura 1.15. Automobil hibrid Toyota Prius și automobilul electric Tesla Roadster

În ultimii ani, pe piață sunt disponibile tot mai multe modele de mașini hibride și electrice aflate în producție în serie, aproape toți producătorii de pe piața auto având în ofertă autovehicule electrice și/sau hibride, iar mulți producători au anunțat că vor renunța în anii ce urmează la autoautovehiculele propulsate cu MAI.

Producătorii tradiționali de autovehicule au în vedere schimbarea politicilor de producție, pentru a nu avea soarta unor renumiți producători de telefonie care nu au fost suficient de dinamici (Nokia, spre exemplu, în comparație cu Apple). La nivelul anului 2024 Tesla era cotate la bursă cu o valoare de peste 700 miliarde, fiind plasată pe primul loc, de aproape trei ori mai mult decât următorul clasat, Toyota, care vinde de 20 de ori mai multe autovehicule.

1.2. Clasificarea autovehiculelor electrice și hibride

Un autovehicul clasic are patru sisteme de putere instalate: mecanică, hidraulică, pneumatică și electrică. Aceste sisteme trebuie să conlucreze și să facă față unui număr mare și foarte diferit de sarcini, pentru a asigura funcționarea principalului sistem de propulsie, motorul cu ardere internă (MAI). Din cele patru sisteme de putere, doar bateriile nu depind de funcționarea motorului (chiar dacă în timpul funcționării motorului acesta le încarcă), celelalte fiind operaționale doar dacă MAI este funcțional.

Comisia Tehnică 69 (Vehicule Electrice Rutiere) din cadrul Comisiei Internaționale de Electrotehnică (The International Electrotechnical Commission's – IEC, Technical Committee 69 – Electric Road Vehicles) a propus ca vehiculele care utilizează două sau mai multe surse de energie, înmagazinare sau conversie să fie numite Vehicule Electrice Hibride (VEH sau HEV-Hybrid Electric Vehicle), dacă cel puțin una din sursele de putere furnizează energie electrică.

La ora actuală este acceptată următoarea clasificare a autovehiculelor electrice (ce utilizează unul sau mai multe motoare electrice ca sursă de propulsie):

1. HEV (Hybrid Electric Vehicle) – Vehicul Electric Hibrid (VEH);
2. PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) – Vehicul Electric Hibrid Reîncarcabil (Plug-in);
3. BEV (Battery Electric Vehicle) – Vehicul Electric cu Baterie (VEB);
4. FCEV (Fuel-Cell Electric Vehicle) – Vehicul Electric cu Pilă de Combustie (VEPC).

1.2.1. Autovehicule electrice hibride

Un autovehicul electric hibrid folosește atât motorul cu ardere internă cât și un motor electric pentru a asigura propulsia autovehiculului.

Autovehiculele electrice hibride sunt considerate ca fiind o etapă intermediară către autovehiculele complet electrice (*full electric vehicle* sau *battery electric vehicle*). Ele reprezintă un pas necesar între investițiile foarte mari necesare pentru dezvoltarea unui model de autovehicul electric complet nou și cerințele societății moderne de a reduce consumul de combustibil și emisiile de gaze CO₂.

Principalele avantaje ale hibridizării sunt că, prin combinarea motorului electric și a celui cu combustie internă, se pot obține randamente mai mari, o flexibilitate mai bună a conducerii autovehiculului și o autonomie îmbunătățită, toate acestea pe fondul diminuării consumului de combustibil și a emisiilor de gaze.

Ideea principală a hibridizării este de a utiliza energia electrică pentru propulsia autovehiculului, în plus față de motorul cu ardere internă.

În funcție de nivelul de implementare a propulsiei electrice, sunt definite diferite niveluri/grade de hibridizare (DOH – degree of hybridization).

$$DOH = \frac{\text{Putere M. E.}}{\text{Putere M. E.} + \text{Putere M. A. I.}}$$

În funcție de gradul de hibridizare, autovehiculele hibride electrice pot fi clasificate în micro-hibrid, hibrid lejer (mild hybrid) și hibrid complet (full hybrid).

Autovehiculele de tip micro-hibrid au de obicei un grad de hibridizare între 5 % și 10 %, autovehiculele de tip mild-hibrid între 10 % și 25 %, în timp ce autovehiculele de tip full hibrid au hibridizarea între 30 % și 50 %.