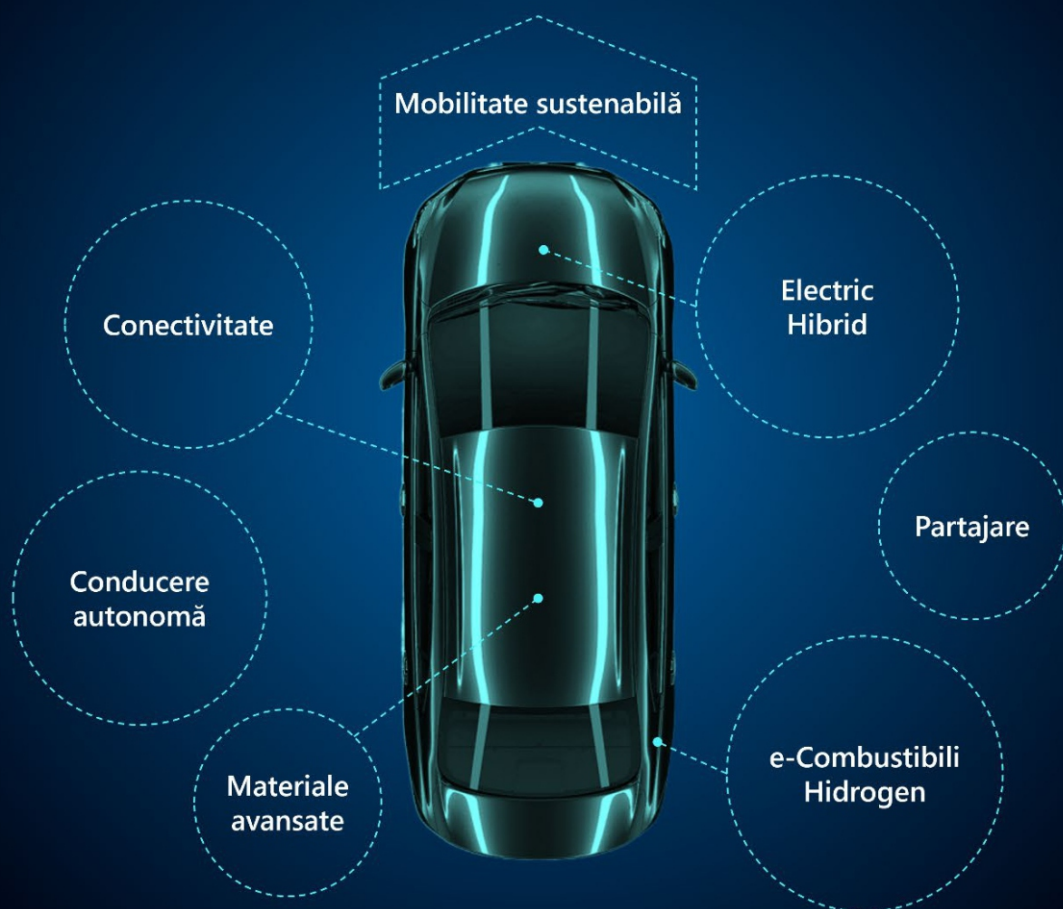


# Tendințe tehnologice

în domeniul autovehiculelor

---

BURNETE Nicolae Vlad  
*Editor*



UTPRESS  
Cluj-Napoca, 2023  
ISBN 978-606-737-641-8

---



**Vlad Nicolae BURNETE**

**Editor**

# **TENDINȚE TEHNOLOGICE**

**ÎN DOMENIUL AUTOVEHICULELOR**



**UTPRESS**

**Cluj - Napoca, 2023**

**ISBN 978-606-737-641-8**



Editura UTPRESS  
Str. Observatorului nr. 34  
400775 Cluj-Napoca  
Tel.: 0264-401999  
e-mail: [utpress@biblio.utcluj.ro](mailto:utpress@biblio.utcluj.ro)  
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Recenzia: Prof. Em. Dr.-Ing. Prof. Dr. h. c. mult. Gheorghe-Alexandru RADU  
*Universitatea Transilvania din Braşov, România*  
*Membru titular al Academiei de Ştiinţe Tehnice din România*

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Cornel STAN  
*Fellow of SAE International (Society of Automotive Engineers)*  
*Honorary Chairman*  
*FTZ - Research and Technology Association at the West Saxon University of*  
*Zwickau, Zwickau, Germany*

Această lucrare a fost concepută pentru a aduce în atenţia cititorului cele mai noi tendinţe de dezvoltare în domeniul autovehiculelor. Ea se adresează atât studenţilor de la programele de studii de licenţă şi master cât şi specialiştilor din domeniu care doresc să afle care sunt ultimele noutăţi din domeniu.

Cartea este disponibilă gratuit şi nu poate fi comercializată.

Publicarea este susţinută prin proiectul:

Cod proiect: CNFIS-FDI-2023-F-0421  
Instituţie: Universitatea Tehnică din Cluj  
Director: Conf. Dr.-Ing. Ovidiu STAN  
Titlu proiect: Formarea noilor generaţii de ingineri şi inovatori în domeniul tehnic  
Acronim: NextIng  
Domeniu: 7. Corelarea ofertei educaţionale cu cererea pieţei muncii, consilierea şi orientarea în carieră

Copyright © 2023 Editura UTPRESS

Reproducerea integrală sau parţială a textului sau ilustraţiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii UTPRESS.

**ISBN 978-606-737-641-8**

Bun de tipar: 26.05.2023

## Cuvânt înainte

Noua carte de specialitate „Tendințe tehnologice în domeniul autovehiculelor”, editată în anul 2023 de Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, se adresează atât studenților de la programele de licență și masterat, cât și specialiștilor care activează în domeniul autovehiculelor rutiere. Lucrarea permite atât o aprofundare cât și o actualizare a cunoștințelor clasice în această specialitate, deschizând noi perspective de tratare a automobilului viitorului.

Autorii sunt, în marea lor majoritate, cadre didactice implicate activ în cercetarea științifică a dezvoltării automobilului, marcată de o transformare radicală a funcțiilor și, legat de acestea, a structurilor și modulelor.

Autovehiculul care va marca următoarele decenii, așa cum este descris în lucrare, va asigura conducerea autonomă și conectivitatea cu lumea înconjurătoare în planuri multiple, fiind în mare măsură digitalizat și propulsat îndeosebi electric.

Această carte este concepută în 13 capitole, axate pe următoarele teme principale: noi concepte de motoare cu ardere internă, în general supraalimentate și noii lor combustibili fără impact asupra mediului, noi sisteme de transmisie a puterii, managementul termic în autovehicul, stocarea energiei în baterii moderne sau producerea acestei energii electrice la bord, folosind pilele de combustibil, dar și sistemele fotovoltaice.

În lucrare sunt prezentate, de asemenea, noile materiale și aliaje folosite, sisteme de siguranță activă și pasivă, dar și cele mai actuale metode de modelare și simulare în domeniul autovehiculelor. Sistemelor autonome de conducere a automobilelor dar și inteligenței artificiale în funcționarea sistemelor de propulsie le sunt dedicate capitole separate.

Multe din aceste informații la zi se pot găsi, bineînțeles, în literatura internațională de specialitate, în limbile de mare circulație, cum sunt engleza, germana și franceza. Meritul lucrării de față este acela de a fi concentrat și polarizat asemenea date, dintr-o multitudine de informații, comparându-le cu propriile cercetări ale autorilor și făcându-le accesibile în limba română.

---

O atenție deosebită este acordată, la sfârșitul fiecărui capitol, datelor bibliografice, care sunt în mare măsură foarte recente, citate exact și cu detectori de tip ISBN sau DOI, care le fac ușor reperabile folosind internetul. Adresez cititorilor, cu multă convingere, recomandarea de a deschide aceste lucrări și, după caz, de a le aprofunda.

Acest volum constituie o operă de pionierat, dorind a fi inițiatorul unei serii de volume periodice, din multiple domenii mai mult sau mai puțin tehnice.

Împreună cu felicitările mele pentru autorii acestei valoroase cărți de specialitate, doresc să lansez colegilor lor, cercetători științifici și cadre didactice din alte specialități, invitația de a copia acest bun exemplu: numai așa pot fi sintetizate și orientate eforturile muncii lor de cercetare, numai așa pot fi diseminate în rândurile studenților și specialiștilor atâtea perle de spirit, create cu sudoare și muncă.

**Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Cornel STAN**

*Fellow of SAE International (Society of Automotive Engineers)*

*Honorary Chairman*

*FTZ - Research and Technology Association  
at the West Saxon University of Zwickau*

## Autori și capitole

### Autori

Prof. Dr.-Ing. habil.	<i>BARABÁS István<sup>1</sup></i>
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.	<i>BURNETE Nicolae<sup>1</sup></i>
Prof. Dr.-Ing. habil.	<i>MARIAȘIU Florin<sup>1</sup></i>
Prof. Dr.-Ing. habil.	<i>TODORUȚ Adrian<sup>1</sup></i>
Prof. Dr.-Ing. habil.	<i>VARGA Bogdan Ovidiu<sup>1</sup></i>
Conf. Dr.-Ing.	<i>BOLUNDUȚ Liviu Călin<sup>2</sup></i>
Conf. Dr.-Ing.	<i>BURNETE Nicolae Vlad<sup>1</sup></i>
Conf. Dr.-Ing.	<i>ICLODEAN Călin Doru<sup>1</sup></i>
Conf. Dr.-Ing.	<i>MOLDOVANU Dan<sup>1</sup></i>
Șef lucrări Dr.-Ing.	<i>JURCHIȘ Bogdan Manolin<sup>1</sup></i>
Șef lucrări Dr.-Ing.	<i>KOCSIS Levente Botond<sup>1</sup></i>
Șef lucrări Dr.-Ing.	<i>MOLEA Andreia<sup>1</sup></i>
Șef lucrări Dr.-Ing.	<i>SCURTU Iacob-Liviu<sup>1</sup></i>
Asist. Dr.-Ing.	<i>SZABO Ioan<sup>1</sup></i>
Asist. Drd.-Ing.	<i>BUIDIN Thomas Imre Cyrille<sup>1</sup></i>
Asist. Drd.-Ing.	<i>CĂRĂUȘAN Horațiu<sup>1</sup></i>
Asist. Drd.-Ing.	<i>DUMA Irina<sup>1</sup></i>
Ing.	<i>SZÎRBE Andrei Călin<sup>3</sup></i>

<sup>1</sup> Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,  
Facultatea de Autovehicule Rutiere, Mecatronică și Mecanică,  
Departamentul de Autovehicule Rutiere și Transporturi

<sup>2</sup> Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,  
Facultatea de Ingineria Materialelor și a Mediului,  
Departamentul de Fizică și Chimie

<sup>3</sup> SC Szirbe SRL

---

## Capitole

1. Tendințe de dezvoltare a motoarelor cu ardere internă  
*BURNETE Nicolae Vlad*
2. Tendințe tehnologice în domeniul supraalimentării motoarelor cu ardere internă  
*KOCSIS Levente Botond*
3. Tehnologii avansate în domeniul combustibililor pentru autovehicule  
*MOLEA Andreia, BURNETE Nicolae Vlad, BARABÁS István*
4. Tehnologii avansate în domeniul transmisiilor de autovehicule  
*JURCHIȘ Bogdan Manolin, BURNETE Nicolae*
5. Tendințe de dezvoltare a surselor energetice utilizate în construcția vehiculelor electrice  
*SZABO Ioan, SCURTU Iacob-Liviu, MARIAȘIU Florin*
6. Tendințe de dezvoltare în domeniul managementului termic al bateriilor de autovehicule  
*BUIDIN Thomas Imre Cyrille, BURNETE Nicolae Vlad, MARIAȘIU Florin*
7. Aspecte privind posibilitățile de utilizarea a panourilor fotovoltaice în domeniul autovehiculelor  
*BOLUNDUȚ Liviu Călin, MOLEA Andreia, SZÎRBE Andrei Călin*
8. Metode de modelare și simulare a vehiculelor cu pile de combustibil utilizând Matlab/Simulink și AVL Cruise M  
*CĂRĂUȘAN Horațiu, VARGA Bogdan Ovidiu, MOLDOVANU Dan*

- 
9. Evoluția aplicațiilor Matlab destinate ingineriei autovehiculelor  
*MOLDOVANU Dan, CĂRĂUȘAN Horațiu, MARIAȘIU Florin*
  10. Tendințe tehnologice în domeniul siguranței autovehiculelor  
*DUMA Irina, BURNETE Nicolae, TODORUȚ Adrian*
  11. Tendințe în evoluția sistemului de conducere autonom  
*ICLODEAN Călin Doru*
  12. Inteligența artificială în industria auto  
*MARIAȘIU Florin, VARGA Bogdan Ovidiu, MOLDOVANU Dan*
  13. Tendințe de dezvoltare a materialelor utilizate în construcția autovehiculelor  
*MOLEA Andreia, BARABÁS István*



## Cuprins

1. TENDINȚE DE DEZVOLTARE A MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ.....	1
1.1. Direcții generale .....	3
1.1.1. Dezvoltarea unor motoare dedicate soluției hibride .....	3
1.1.2. Conceptul cu amestec stoichiometric ( $\lambda = 1$ ) pe întreg domeniul de funcționare .....	4
1.1.3. Alte sisteme avansate .....	5
1.2. Combustibilii viitorului .....	5
1.3. Motoare cu hidrogen .....	6
1.4. Sisteme de post-tratare a gazelor .....	8
1.5. Concluzii .....	10
1.6. Bibliografie.....	11
2. TENDINȚE TEHNOLOGICE ÎN DOMENIUL SUPRAALIMENTĂRII MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ .....	14
2.1. Supraalimentarea cu turbocompresoare cu două volute .....	14
2.2. Supraalimentarea asistată electric .....	18
2.3. Concluzii .....	23
2.4. Bibliografie.....	25
3. TEHNOLOGII AVANSATE ÎN DOMENIUL COMBUSTIBILILOR PENTRU AUTOVEHICULE .....	28
3.1. Introducere.....	28
3.2. Tehnologii curente utilizate pentru fabricarea combustibililor pentru autovehicule rutiere.....	30

3.3.	Biocombustibilii și conversia biomasei în biocombustibili .....	32
3.4.	e-Combustibilii .....	37
3.5.	Concluzii.....	38
3.6.	Bibliografie .....	39
4.	TEHNOLOGII AVANSATE ÎN DOMENIUL TRANSMISIILOR DE AUTOVEHICULE .....	41
4.1.	Introducere.....	41
4.2.	Transmisia autovehiculelor .....	46
4.2.1.	Ambreiajul .....	46
4.2.2.	Cutia de viteze .....	47
4.2.3.	Diferențialul.....	51
4.3.	Concluzii.....	52
4.4.	Bibliografie .....	53
5.	TENDINȚE DE DEZVOLTARE A SURSELOR ENERGETICE UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIA VEHICULELOR ELECTRICE .....	55
5.1.	Tipuri de celule electrochimice utilizate în construcția vehiculelor electrice .....	56
5.2.	Solicitări structurale în bateriile pentru vehicule electrice.....	60
5.3.	Direcții de cercetare .....	65
5.4.	Concluzii.....	66
5.5.	Bibliografie .....	67

6.	TENDINȚE DE DEZVOLTARE ÎN DOMENIUL MANAGEMENTULUI TERMIC AL AUTOVEHICULELOR.....	72
6.1.	Managementul termic al bateriilor de înaltă tensiune cu acumulatori litu-ion .....	73
6.1.1.	Limitările termice ale acumulatorilor litu-ion.....	73
6.1.2.	Sisteme de management termic a bateriilor.....	74
6.2.	Confortul termic al ocupanților autovehiculelor .....	77
6.3.	Managementul termic al autobuzelor urbane .....	80
6.4.	Aspecte privind simularea și controlul managementului termic....	81
6.5.	Concluzii .....	83
6.6.	Bibliografie.....	84
7.	ASPECTE PRIVIND POSIBILITĂȚILE DE UTILIZARE A PANOURILOR FOTOVOLTAICE ÎN DOMENIUL AUTOVEHICULELOR.....	87
7.1.	Aspecte generale .....	88
7.2.	Tendințe și impact .....	89
7.3.	Concluzii .....	94
7.4.	Bibliografie.....	95
8.	METODE DE MODELARE ȘI SIMULARE A VEHICULELOR CU PILE DE COMBUSTIBIL UTILIZÂND MATLAB/SIMULINK ȘI AVL CRUISE M .....	97
8.1.	Integrarea pilelor de combustibil în sistemele de propulsie ale autovehiculelor electrice .....	99
8.2.	Medii de simulare și modelare –MATLAB/Simulink, AVL Cruise M .....	101
8.2.1.	Modelarea matematică.....	101

8.2.2. Simularea completă a sistemelor .....	101
8.3. Prezentarea modelelor.....	103
8.4. Concluzii.....	108
8.5. Bibliografie.....	109
9. EVOLUȚIA APLICAȚIILOR MATLAB DESTINATE INGINERIEI AUTOVEHICULELOR.....	111
9.1. Generalități.....	111
9.2. Subiecte de interes în domeniul ingineriei autovehiculelor utilizând MATLAB .....	111
9.3. Publicații în domeniul ingineriei autovehiculelor utilizând MATLAB .....	114
9.4. Modul de utilizare a programului software MATLAB în ingineria autovehiculelor.....	117
9.5. Concluzii.....	121
9.6. Bibliografie.....	122
10. TENDINȚE TEHNOLOGICE ÎN DOMENIUL SIGURANȚEI AUTOVEHICULELOR.....	125
10.1. Siguranța activă a autovehiculelor .....	127
10.1.1. Conducere preventivă.....	127
10.1.2. Asistarea conducătorului auto .....	128
10.2. Siguranța pasivă a autovehiculelor .....	129
10.3. Siguranța post-coliziune .....	130
10.4. Concluzii.....	131
10.5. Bibliografie.....	133

---

11. TENDINȚE ÎN EVOLUȚIA SISTEMULUI DE CONDUCERE AUTONOM .....	137
11.1. Sistemul de conducere autonom .....	138
11.1.1.Nivelele de automatizare și asistență .....	138
11.1.2.Caracteristicile senzorilor .....	140
11.1.3.Unitatea de comandă și control .....	142
11.2. Comunicații pentru autovehicule autonome.....	144
11.2.1.Comunicații V2X.....	144
11.2.2.Comunicații V2V.....	146
11.2.3.Comunicații V2I .....	146
11.2.4.Comunicații V2P .....	147
11.3. Concluzii .....	148
11.4. Bibliografie.....	149
12. INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ ÎN INDUSTRIA AUTO.....	150
12.1. Generalități .....	150
12.2. Aplicații ale IA în optimizarea grupului motopropulsor .....	152
12.3. Aplicații ale IA în optimizarea proceselor funcționale specifice ale motoarelor cu ardere internă .....	154
12.4. Strategii de alegere a IA în optimizarea funcțională a motoarelor cu ardere internă .....	160
12.5. Concluzii .....	160
12.6. Bibliografie.....	162

---

13. TENDINȚE DE DEZVOLTARE A MATERIALELOR UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIA AUTOVEHICULELOR .....	164
13.1. Oțeluri și fonte .....	166
13.2. Metale ușoare și aliaje.....	168
13.3. Materiale plastice .....	170
13.4. Concluzii.....	173
13.5. Bibliografie.....	174



# 1. TENDINȚE DE DEZVOLTARE A MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ

Conform acordului din Parlamentul și Consiliul European din data de 27 octombrie 2022 [1], acord care face parte din pachetul „Pregătiți pentru 55” [2], începând cu anul 2035 toate vehiculele noi vor trebui să fie cu zero emisii poluante. La acest acord se adaugă o etapă intermediară care implică reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> cu 55% pentru automobile, respectiv cu 50% pentru autoutilitate până în anul 2030. Cu toate că acest pas va accelera, în principal, tranziția către mobilitatea electrică, un pilon important îl vor reprezenta în continuare motoarele cu ardere internă datorită specificului unor sectoare ale transporturilor care, ca urmare a limitărilor actuale ale vehiculelor electrice, nu pot fi complet electrificate [3–7]. Suplimentar, este important să se țină cont de faptul că, implementarea propulsiei electrice la nivel global necesită timp și presupune dezvoltarea unei infrastructuri de încărcare corespunzătoare care, actualmente, nu evoluează în ritmul necesar [8]. Nu în ultimul rând, pentru moment, avantajul propulsiei electrice din punct de vedere al amprente de carbon se reduce atunci când se face o evaluare comparativă a întregului ciclu de viață al celor două tehnologii atât datorită procesului de producție, cât și al dependenței sectorului energetic de combustibilii fosili [9].

Pentru a asigura cadrul legal de reducere a emisiilor poluante al autovehiculelor noi, Comisia Europeană a propus un nou standard de emisii poluante, respectiv Euro 7, care urmărește [10]:

- ▶ obținerea unui control îmbunătățit al emisiilor poluante al autovehiculelor prin extinderea domeniului de testare, astfel încât să reflecte mai bine condițiile reale de utilizare. Cu alte cuvinte, se urmărește trecerea de la testarea în condiții de laborator, la testarea în condiții reale de drum (RDE – Real Driving Emissions – fig. 1.1);
- ▶ actualizarea și înăsprirea valorilor acceptate de emisii poluante (valorile și aplicarea diferă pentru autobuze și autocare – se înăspresc



– față de autoturisme și autoutilitare) și includerea unui nou poluant în normele de poluare, respectiv protoxidul de azot  $N_2O$ . Pentru autoturisme, limitele maxime acceptate sunt aceleași, indiferent de tipul de combustibil utilizat;

- ▶ introducerea unor limite de emisii de particule și microplastic rezultate din uzura anvelopelor și a frânelor pentru toate tipurile de autovehicule;
- ▶ creșterea limitei minime de kilometrii (de la 100 000 la 200 000 km) și a perioadei (de la 5 la 10 ani) pentru care noile autovehicule trebuie să îndeplinească valorile minime de emisii poluante;
- ▶ accelerarea adopției de vehicule electrice prin impunerea unui criteriu de durabilitate bateriilor autoturismelor și autoutilitarelor;
- ▶ asigurarea unei utilizări corespunzătoare și prevenirea aplicării de metode ilicite de scoatere intenționată din funcțiune a sistemelor de control al emisiilor poluante.

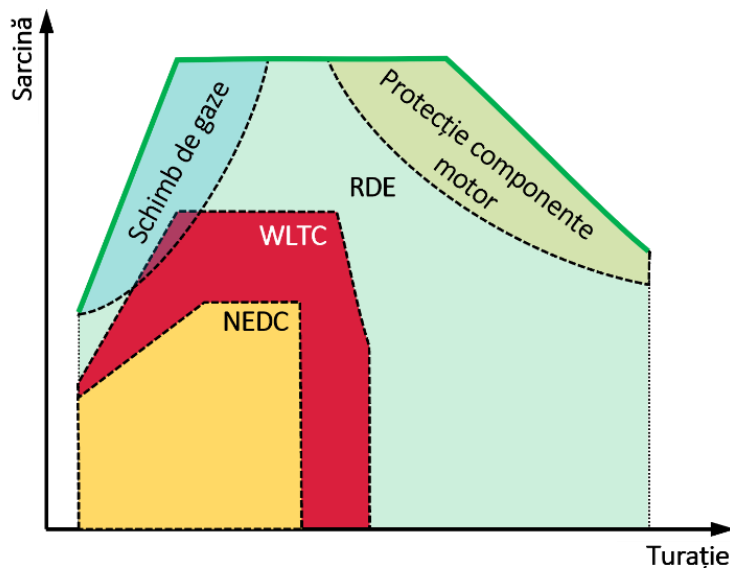


Fig. 1.1 Testarea RDE în comparație cu ciclurile de testare WLTC și NEDC

## 1.1. Direcții generale

În ciuda problemelor de poluare asociate, mai mult sau mai puțin justificat, motoarele cu ardere internă prezintă totuși un potențial considerabil de a contribui la reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> prin adoptarea unor tehnologii mai performante, utilizarea unor combustibili care, fie închid circuitul de CO<sub>2</sub> (ex. e-combustibili), fie nu conțin carbon (ex. hidrogen), combinarea cu motoarele electrice în soluții hibride, respectiv prin implementarea unor sisteme performante de post-tratare a gazelor. Un aspect important este faptul că, pentru un combustibil dat, emisiile de CO<sub>2</sub> nu pot fi reduse prin măsuri de eficientizare a proceselor motorului. Dimpotrivă, emisiile de CO<sub>2</sub> trebuie să prezinte valoarea maxim posibilă pentru fiecare picătură de combustibil utilizată, deoarece doar astfel eficiența procesului de ardere va fi, la rândul său, cea mai ridicată posibil [11]. Prin urmare, pentru un combustibil dat, emisiile de CO<sub>2</sub> nu se pot reduce decât prin reducerea consumului de combustibil. Singura alternativă este înlocuirea combustibilului cu unul care are un conținut redus sau chiar zero de carbon. Acest lucru duce la următoarea concluzie: nu motorul cu ardere internă este cel care produce emisiile poluante, ci combustibilul utilizat [12]. Totodată, numeroase studii au arătat că, pe termen scurt și mediu, nu există o singură soluție salvatoare și că cel mai ridicat potențial de a reduce emisiile poluante implică, în fapt, un mix de soluții tehnologice [12].

### 1.1.1. Dezvoltarea unor motoare dedicate soluției hibride

Pentru o creștere suplimentară a eficienței (prin restrângerea domeniului de funcționare al motorului cu ardere internă în zona de maximă eficiență), se impune dezvoltarea unor motoare dedicate soluțiilor hibride și nu adaptarea motoarelor existente. Acest lucru ridică însă o serie de probleme care trebuie avute în vedere și care depind de arhitectura sistemului hibrid de propulsie, respectiv: cerințe sporite privind pornirea la rece, încălzirea motorului și managementului termic, reducerea turației de funcționare (pentru a menține un nivel redus de zgomot), a riscului de detonație la sarcini ridicate și a

vibrațiilor la sarcini mici, optimizarea consumului de combustibil în domeniul de eficiență ridicată, reducerea momentului rezistent al motorului (pentru îmbunătățirea capacității de recuperare a energiei), implementarea unei soluții pentru oprirea fluxului de aer spre evacuare la funcționare în frână de motor, îmbunătățirea timpilor de răspuns ai sistemelor de control etc. [13–15].

### ***1.1.2. Conceptul cu amestec stoichiometric ( $\lambda = 1$ ) pe întreg domeniul de funcționare***

Succesul catalizatorului cu trei căi (TWC) pentru reducerea emisiilor poluante ale motoarelor pe benzină se datorează costurilor reduse și eficienței ridicate pe care o poate asigura ( $\geq 99\%$ ). Acest lucru nu este însă posibil dacă nu sunt îndeplinite următoarele două condiții: amestecul este stoichiometric ( $\lambda = 1$ ), iar catalizatorul a atins temperatura optimă de funcționare ( $\geq 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ca urmare, una dintre tendințele actuale de dezvoltare este asigurarea unui amestec stoichiometric pe întreg domeniul de funcționare al motorului pentru a asigura încadrarea în limitele de poluare impuse, indiferent de punctul de funcționare.

Acest lucru nu este însă posibil pentru toți combustibilii. Spre exemplu, în cazul hidrogenului, amestecurile preformate prezintă risc ridicat de ardere anormală (preaprindere și detonație) datorită valorii foarte scăzute a energiei minime de aprindere a hidrogenului. Din acest motiv, în cazul motoarelor cu  $\text{H}_2$  se preferă funcționarea cu amestecuri sărace – exces de oxigen – ( $\lambda \geq 1,5$ ) care, asigură un control bun al procesului de ardere și o eficiență sporită (acest lucru este valabil și pentru alți combustibili sintetici). În această situație însă, catalizatorul cu trei căi nu mai funcționează ca atare (reacția de reducere a  $\text{NO}_x$  nu mai are loc, deoarece CO și HC se oxidează selectiv cu surplusul de  $\text{O}_2$  din evacuare), motiv pentru care se impune implementarea unui alt sistem de post-tratare a gazelor, respectiv reducerea catalitică selectivă (SCR). Sistemul SCR poate fi însă ușor optimizat dacă motorul cu hidrogen funcționează nu numai cu amestec sărac, ci și cu recirculare de vapori de apă, caz în care emisiile de  $\text{NO}_x$  ale motorului vor fi foarte reduse.

### **1.1.3. Alte sisteme avansate**

Beneficii suplimentare din punct de vedere al eficienței și performanțelor se vor putea obține dacă se implementează sisteme avansate care permit un control sporit și o creștere a flexibilității care să asigure parametrii optimi pe întreg domeniul de funcționare al motorului:

- ▶ sisteme de alimentare cu combustibil cu presiuni ridicate de injecție și precizie îmbunătățită de dozare a combustibilului;
- ▶ sisteme de distribuție a gazelor complet variabile cu acționare electrică, electro-pneumatică sau electro-hidraulică. Suplimentar, implementarea sistemelor fără arbori cu came care, ar permite decuplarea acționării supapelor de rotația arborelui cotit;
- ▶ sisteme de variație a raportului de comprimare care permit adaptarea valorii acestuia astfel încât să se evite detonația la sarcini și turații ridicate și să se crească eficiența în domeniul sarcinilor mici și mijlocii, unde riscul de detonație este redus.

## **1.2. Combustibilii viitorului**

Necesitatea utilizării unor combustibili avansați cu impact minim asupra mediului pornește de la o problemă recunoscută de toți actorii implicați în dezvoltarea tehnologiilor de transport ale viitorului (universități, centre de cercetare și asociații ale industriei): chiar dacă propulsia electrică va avea succesul scontat, obiectivele de emisii poluante nu vor putea fi atinse dacă nu se intervine și asupra flotei existente de autovehicule, iar acest lucru este posibil doar prin intermediul combustibililor. Mai precis, pentru a obține reducerea necesară de emisii a flotei existente de autovehicule este necesar ca procentul de combustibili regenerabili să crească la cel puțin 40% [16–18].

Indiferent de tipul de combustibil sintetic, este necesar ca acesta să corespundă standardelor actuale din domeniu (EN 590 pentru diesel și EN 228 pentru benzină) din punct de vedere al cifrei cetanice pentru motoarele

diesel, al cifrei octanice pentru motoarele pe benzină, respectiv al compatibilității cu materialele sistemelor motorului pentru a nu crea probleme la motoarele aflate deja în uz (ex. imposibilitatea aplicării conceptelor actuale de ardere cu amestec sărac, detonație datorită unei cifre octanice necorespunzătoare, reacții cu materialele garniturilor de etanșare ale sistemului de alimentare etc.). Astfel, combustibilii vor putea fi utilizați direct, sau cel mult cu modificări minore ale sistemului de control al motorului, de către flota existentă de autovehicule. Este însă important de menționat faptul că beneficiile de eficiență și emisii ale unei noi generații de combustibili (produși cu energie regenerabilă) se vor putea maximiza doar într-o nouă generație de motoare care vor utiliza concepte avansate de ardere (HCCI – Homogeneous Charge Compression Ignition, PCCI – Premixed Controlled Compression Ignition și RCCI – Reactivity Controlled Compression) în sisteme mono- sau bi-combustibil. Pentru ca acest lucru să aibă succesul dorit și pentru a putea începe co-dezvoltarea motor-combustibil în această direcție, este necesară o decizie cât mai rapidă la nivel global cu privire la care vor fi, în cele din urmă, combustibilii viitorului.

Un alt aspect care trebuie considerat este sursa de energie electrică pentru producția de combustibili. Atât timp cât energia electrică utilizată la producția combustibililor sintetici este obținută din energie eoliană, hidroenergie sau energie solară, aceștia vor fi neutri din punct de vedere al emisiilor poluante. În cazul e-combustibililor, acest lucru este susținut de analiza „well-to-wheel” (de la sursă la roată) deoarece, cantitatea de CO<sub>2</sub> emisă în urma utilizării în motorul cu ardere internă va fi mai mică sau egală decât cantitatea captată din atmosferă în procesul de producție al combustibilului [12].

### **1.3. Motoare cu hidrogen**

Motoarele cu hidrogen reprezintă o componentă esențială pentru implementarea strategiei de hidrogen [19] în sectorul transporturilor. Acest lucru reiese și din interesul sporit pentru dezvoltarea unor astfel de motoare în domeniul aplicațiilor heavy-duty (HD), respectiv autocamioane de mare

tonaj pentru transportul de marfă, utilaje agricole și de construcții și industria maritimă. Actualmente, abordarea generală în acest sector este de a converti motoare diesel sau pe gaz natural pentru funcționare cu  $H_2$  (spre deosebire de sectorul autoturismelor unde este mai practic să se pornească de la motoare pe benzină [15]). Avantajul major al acestei abordări este impactul redus asupra lanțului de producție prin utilizarea infrastructurii existente de producție a motoarelor cu ardere internă. Acest lucru reduce atât costurile de dezvoltare, cât și timpul necesar pentru introducerea pe piață a noilor soluții. Suplimentar, testele efectuate au pus în evidență faptul că aceste motoare sunt capabile să ofere performanțe similare sau chiar îmbunătățite în comparație cu cele ale motoarelor convenționale, dar și timpi de realimentare similari [20, 21].

Principala barieră tehnologică (și economică) în calea utilizării hidrogenului pe o scară mai largă în domeniul transporturilor este stocarea. Datorită densității reduse a acestui combustibil ( $0,09 \text{ kg/m}^3$  la 1 atm și  $15^\circ\text{C}$  [11, 22]) stocarea unei cantități suficiente la bordul autovehiculelor, ținând cont și de limitările de spațiu, presupune comprimarea hidrogenului la 350 – 700 bari. Cu toate că hidrogenul este de aproximativ 800 ori mai dens în stare lichidă decât în stare gazoasă, lichefierea acestuia implică (în plus față de complexitatea tehnologică și costurile ridicate – consumul de energie pentru răcire crește cu aproximativ 30% față de comprimare) răcirea până la o temperatură de  $-253^\circ\text{C}$  și, implicit, sisteme de stocare care să reducă la minim schimbul de căldură cu exteriorul (pereți dublii vidați – chiar și în acest caz apar pierderi). Chiar și în cazul stocării în stare gazoasă sunt necesare recipiente speciale care să nu permită scăpările de gaze prin pereții (datorită dimensiunilor reduse ale moleculei de hidrogen) și care să reziste la presiunile ridicate pe care le implică utilizarea hidrogenului. Pentru a putea îndeplini aceste cerințe, rezervoarele de hidrogen se compun dintr-un strat interior din polimer impermeabil la gaz înfășurat în fibră de carbon pentru rezistență [22, 23].

La cele menționate se mai adaugă o serie de aspecte care necesită atenția la dezvoltarea unui motor cu ardere internă cu hidrogen precum:

- ▶ injecția hidrogenului în stare gazoasă ridică probleme similare celor ale motoarelor pe gaz natural din punct de vedere al formării amestecului, și al umplerii cilindrului (hidrogenul va substitui o parte importantă din volumul de aer admis în cilindru), motiv pentru se impune utilizarea unui sistem de supraalimentare ;
- ▶ riscul ridicat de preaprindeere poate duce la o ardere necontrolată care pătrunde în sistemul de admisie în timpul schimbului de gaze;
- ▶ sistemul de injecție trebuie să poată asigura volume mari de gaz într-un interval limitat de timp;
- ▶ utilizarea vaporilor de apă din gazele arse (prin recirculare) pentru diluarea amestecului, reducând astfel riscul de detonație/arderi anormale, emisiile de  $\text{NO}_x$  și pierderile de căldură prin pereți.

#### 1.4. Sisteme de post-tratare a gazelor

Cu toate că evoluțiile tehnologice ale principalelor sisteme cu impact asupra emisiilor poluante (alimentare cu aer și combustibil, recirculare de gaze arse, ungere – din perspectiva consumului de ulei și control) au permis o reducere semnificativă a valorilor la ieșirea din motor, acestea nu sunt suficiente pentru a asigura încadrarea în limitele impuse de legislația actuală (și cu atât mai puțin în cazul noilor norme de poluare propuse), motiv pentru care se impune utilizarea unor sisteme de post-tratare a gazelor care pot cuprinde: catalizatoare cu trei căi (TWC – Three Way Catalyst), catalizatoare de oxidare (OC – Oxidation Catalyst), filtre de particule (PF – Particulate Filter), capcane de  $\text{NO}_x$  (LNT – Lean  $\text{NO}_x$  Trap/NSC – Nitrogen oxide Storage Catalyst), capcane de HC (HC trap), catalizatoare pentru reducere catalitică selectivă (SCR – Selective Catalytic Reduction) etc.

În ansamblu, componența sistemului de post-tratare va depinde de tipul de combustibil utilizat (ex. fig. 1.2 și fig. 1.3), care determină tipul de amestec. În cea mai simplă formă acestea pot fi:

- ▶ amestec stoichiometric ( $\lambda = 1$ ): TWC + NSC + PF (injecție directă);
- ▶ amestec sărac ( $\lambda \gg 1$ ): OC + NSC + SCR + PF (injecție directă).

Principala direcție de dezvoltare pentru aceste sisteme este de a îmbunătăți compoziția chimică a sistemelor astfel încât să permită: reducerea temperaturii optime de funcționare (cea ce ar permite și o creștere a eficienței motorului cu ardere internă, deoarece se poate reduce cantitatea de căldură pierdută prin gazele de evacuare), creșterea eficienței și reducerea costurilor de producție (prin utilizarea unor materiale mai puțin costisitoare). În paralel, se urmărește îmbunătățirea capacităților de reciclare a sistemelor ieșite din uz pentru a recupera materialele din grupa PGM (Platinum Group Metals) și astfel, să se reducă emisiile de CO<sub>2</sub> [14, 24].

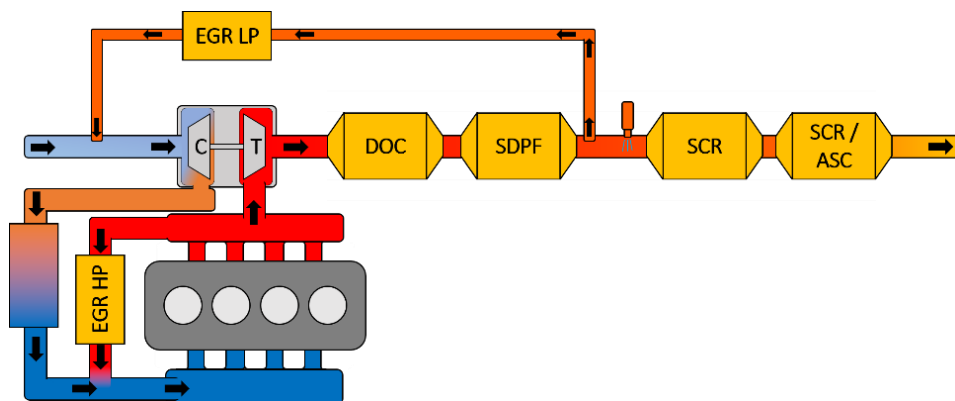


Fig. 1.2 Exemplu de sistem de postratare a gazelor pentru motoare diesel

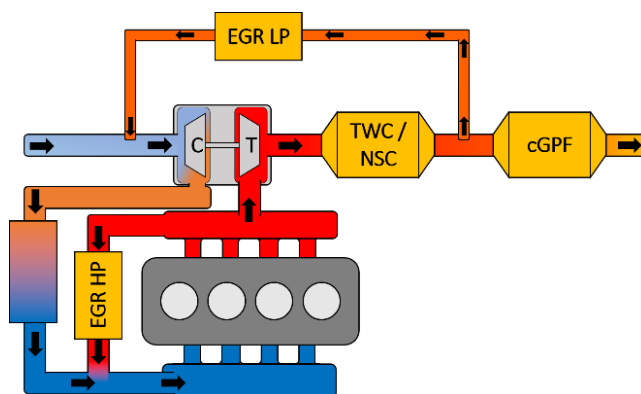


Fig. 1.3 Exemplu de sistem de postratare a gazelor pentru motoare pe benzină



Catalizatorul cu trei căi va rămâne însă o componentă esențială a sistemului de post-tratare a gazelor, dar doar în cazul motoarelor care funcționează cu amestec stoichiometric. Tendințele de dezvoltare ale acestuia vizează:

- ▶ creșterea volumului catalizatorului pentru a permite debite mai mari de gaze, specifice testării RDE;
- ▶ reducerea temperaturii de inițiere a catalizatorului (temperatura la care se atinge o eficiență de conversie de 50%);
- ▶ reducerea semnificativă a timpului de încălzire prin măsuri active de încălzire (ex. încălzire prin inducție). Aceste măsuri se pretează însă doar la sistemele hibride de cel puțin 48 V, unde bateria este suficient de mare. În cazul sistemelor clasice, reducerea timpului de încălzire se face prin măsuri interne (recirculare de gaze fără răcire, întârzierea injectiei de combustibil corelată sau nu cu o creștere a turației etc.) și/sau sisteme suplimentare care să asigure un flux sporit de căldură (ex. arzătoare, injecție secundară de aer,  $\lambda$  divizat etc.).

În ceea ce privește filtrul de particule, acesta va deveni, ca urmare a limitelor impuse de normele de poluare, obligatoriu inclusiv pentru motoarele pe benzină care folosesc injecție directă.

## 1.5. Concluzii

Ținând cont de aspectele prezentate anterior, se poate concluziona faptul că motorul cu ardere internă va avea în continuare o contribuție importantă în sectorul transporturilor. Cu toate că există o serie de probleme de poluare asociate motoarelor cu ardere internă, ținând cont de flota existentă de autovehicule, acestea prezintă totuși un potențial considerabil de a contribui la reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> prin utilizarea unor combustibili avansați care, fie închid circuitul de CO<sub>2</sub>, fie nu conțin carbon. Pentru noile generații de motoare, în plus față de combustibil este necesar să se aibă în vedere și adoptarea unor tehnologii și concepte de ardere mai performante, combinarea cu motoarele electrice în soluții hibride, respectiv prin implementarea unor sisteme performante de post-tratare a gazelor.

## 1.6. Bibliografie

- [1] Crespo Parrondo, A., “Acord la nivelul UE pentru a pune capăt vânzării de autovehicule noi cu emisii de CO<sub>2</sub> până în 2035,” [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ro/IP\\_22\\_6462](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ro/IP_22_6462), 2022.
- [2] \*\*\* European Council, “Fit for 55 - The EU’s plan for a green transition - Consilium,” <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>, Nov. 2022.
- [3] Stan, C., “Automobilele viitorului,” ISBN 978-606-25-0427-4, 2018.
- [4] Stan, C., “Future Fire Forms,” ISBN 978-3-031-12081-7, 2023.
- [5] Beltrami, D., Iora, P., Tribioli, L., and Uberti, S., “Electrification of Compact Off-Highway Vehicles—Overview of the Current State of the Art and Trends,” *Energies* 2021, Vol. 14, Page 5565 14(17):5565, 2021, doi:10.3390/EN14175565.
- [6] Nykvist, B. and Olsson, O., “The feasibility of heavy battery electric trucks,” *Joule* 5(4):901–913, 2021, doi:10.1016/J.JOULE.2021.03.007.
- [7] Liimatainen, H., Vliet, O. van, and Aplyn, D., “The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis,” *Appl Energy* 236:804–814, 2019, doi:10.1016/J.APENERGY.2018.12.017.
- [8] Ziegler, M., “The rapid ramp-up of electric mobility must take priority,” *MTZ Worldwide* 2021 82:9 82(9):24–27, 2021, doi:10.1007/S38313-021-0692-5.
- [9] Andersson, Ö. and Börjesson, P., “The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications,” *Appl Energy* 289:116621, 2021, doi:10.1016/J.APENERGY.2021.116621.
- [10] \*\*\* European Commission, “Commission proposes new Euro 7 standards,” [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_22\\_6495](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495), Nov. 2022.

- 
- [11] Stan, C., "Termodinamica automobilului," 1st ed., Matrixrom, ISBN 978-606-25-0354-3, 2017.
  - [12] Reitz, R.D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y., Agarwal, A.K., Arcoumanis, D., Assanis, D., Bae, C., Boulouchos, K., Canakci, M., Curran, S., Denbratt, I., Gavaises, M., Guenther, M., Hasse, C., Huang, Z., Ishiyama, T., Johansson, B., Johnson, T. v., Kalghatgi, G., Koike, M., Kong, S.C., Leipertz, A., Miles, P., Novella, R., Onorati, A., Richter, M., et al., "IJER editorial: The future of the internal combustion engine," *International Journal of Engine Research* 21(1):3–10, 2019, doi:10.1177/1468087419877990.
  - [13] Strauß, A., Mayer, A., Ihlemann, A., and Werblinski, T., "The Final Stage in the Evolution of the Internal Combustion Engine in Hybrid Powertrains," <https://www.schaeffler.com/en/media/dates-events/kolloquium/digital-conference-book-2022/hybrid-engines/>, Nov. 2022.
  - [14] Ziegler, M., "My personal favorite is methanol," *MTZ Worldwide* 2021 82:10 82(10):22–25, 2021, doi:10.1007/S38313-021-0708-1.
  - [15] Seboldt, D., Mansbart, M., Grabner, P., and Eichlseder, H., "Hydrogen Engines for Future Passenger Cars and Light Commercial Vehicles," *MTZ Worldwide* 2021 82:2 82(2):42–47, 2021, doi:10.1007/S38313-020-0603-1.
  - [16] Gutzmer, P., Beidl, C., Dums, K., and Ziegler, M., "Voices from the International Engine Congress 2022," *MTZ Worldwide* 2022 83:5 83(5):76–79, 2022, doi:10.1007/S38313-022-0795-7.
  - [17] Cai, H., Prussi, M., Ou, L., Wang, M., Yugo, M., Lonza, L., and Scarlat, N., "Decarbonization potential of on-road fuels and powertrains in the European Union and the United States: a well-to-wheels assessment," *Sustain Energy Fuels* 6(19):4398–4417, 2022, doi:10.1039/D2SE00411A.

- 
- [18] Meisel, K., Millinger, M., Naumann, K., Müller-Langer, F., Majer, S., and Thrän, D., "Future Renewable Fuel Mixes in Transport in Germany under RED II and Climate Protection Targets," *Energies* 2020, Vol. 13, Page 1712 13(7):1712, 2020, doi:10.3390/EN13071712.
  - [19] \*\*\* European Commission, "Hydrogen," [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en), Nov. 2022.
  - [20] Rittmann, S., "Accelerating Decarbonization with H2 and Non-Fossil Fuels," *MTZ Worldwide* 2022 83:5 83(5):82–82, 2022, doi:10.1007/S38313-022-0790-Z.
  - [21] Seboldt, D., Mansbart, M., Grabner, P., and Eichlseder, H., "Hydrogen Engines for Future Passenger Cars and Light Commercial Vehicles," *MTZ Worldwide* 2021 82:2 82(2):42–47, 2021, doi:10.1007/S38313-020-0603-1.
  - [22] Klell, M., Eichlseder, H., and Trattner, A., "Hydrogen in Automotive Engineering," *Hydrogen in Automotive Engineering*, 2023, doi:10.1007/978-3-658-35061-1.
  - [23] Siebel, T., "Pressure in the Hydrogen Tank," *MTZ Worldwide* 2021 82:9 82(9):8–13, 2021, doi:10.1007/S38313-021-0695-2.
  - [24] Ziegler, M., "'We expect more flexibility in technology choices,'" *MTZ Worldwide* 2022 83:5 83(5):24–25, 2022, doi:10.1007/S38313-022-0797-5.

## **2. TENDINȚE TEHNOLOGICE ÎN DOMENIUL SUPRAALIMENTĂRII MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ**

La ora actuală supraalimentarea motoarelor cu ardere internă este metoda cheie prin care se obțin performanțe ridicate, și un element de bază în reducerea consumului de combustibil și în reducerea poluării chimice [1], [2]. În Europa autoturismele echipate cu sisteme de supraalimentare au ajuns să domine sectorul cu o cotă de piață de peste 75% din totalul autoturismelor noi vândute, la nivelul anului 2022 [3].

Actualmente sunt întrebuițate o sumedenie de variante de supraalimentare care utilizează energia internă a gazelor de evacuare pentru antrenarea rotorului, dar există și soluții care utilizează mișcarea arborelui cotit pentru antrenarea rotorului/rotorilor [4]. O categorie aparte este formată de compresoarele/turbocompresoarele acționate/asistate electric. Dintre variantele care utilizează energia gazelor de evacuare pentru antrenarea rotorului, una dintre cele mai avantajoase soluții constructive este supraalimentarea cu turbocompresoare cu două volute (Twin Scroll – cu carcasă divizată), deoarece reprezintă o soluție simplă, dar eficientă de supraalimentare [5]. Supraalimentarea asistată electric a câștigat teren în ultimii ani datorită multiplelor posibilități de control [6], respectiv datorită faptului că turația rotorului compresorului nu este condiționată de turația motorului sau de debitul de gaze de evacuare.

### **2.1. Supraalimentarea cu turbocompresoare cu două volute**

În timpul funcționării motorului cu ardere internă, undele de presiune din galeria de evacuare se influențează reciproc. În momentul în care se deschide supapa de evacuare la primul cilindru, gazele încep să iasă la o presiune relativ ridicată, care în timp se reduce la o valoare apropiată de presiunea

ambientă. Între timp, înainte ca supapa de evacuare de la primul cilindru să se închidă, se deschide supapa de evacuare de la următorul cilindru, la care are loc evacuarea și gazele încep să iasă la o presiune ridicată. Acestea exercită o contrapresiune pe tubulatura primului cilindru asupra gazelor care încă ies din acest cilindru, crescând cantitatea de gaze reziduale reținute, reducând astfel randamentul umplerii. În cazul motoarelor normal aspirate o soluție de remediere a acestui efect este atenuarea șocurilor de undă prin realizarea unei tubulaturi lungi a colectorului de evacuare.

În cazul motoarelor turbosupraalimentate această metodă nu este fezabilă deoarece turbina trebuie localizată cât mai aproape de camera de ardere, astfel încât să se utilizeze cât mai bine energia gazelor evacuate.

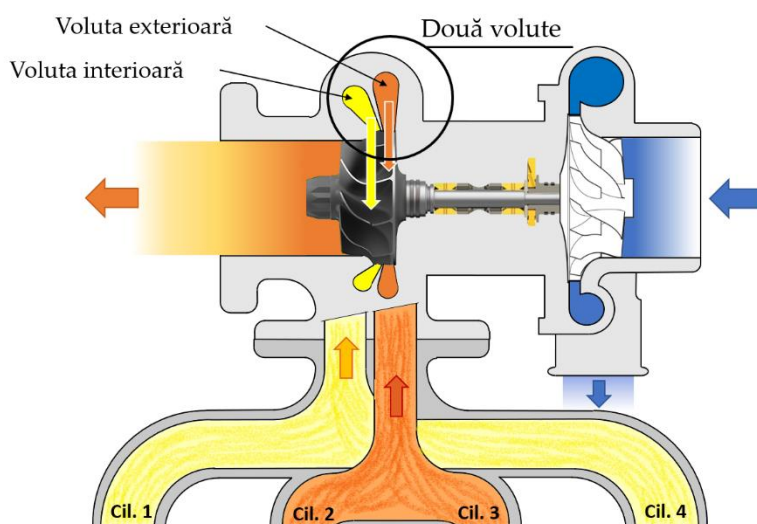


Fig. 2.1 Colectorul divizat al carcasei turbinei (adaptare după [4])

În acest sens în ultimul deceniu se utilizează tot mai frecvent turbosuflante cu colectoare de evacuare divizate (fig. 2.1) cu două volute, în cazul cărora fluxul de gaze este separat, dar antrenează aceeași turbină. Luând în considerare ordinea de aprindere, la o volută se conectează cilindrii care din punct de vedere gazodinamic nu se influențează în mod negativ. În acest fel, la turații mici și mijlocii crește presiunea gazelor cu care este antrenată turbina, asigurând funcționarea mai eficientă a acesteia.

Acest efect a fost demonstrat științific prin testele efectuate pe motoare turbosupraalimentate (fig. 2.2) [5, 7]. La turații mici ale motorului, vârfulurile de presiune în amonte de turbină au crescut cu 50% pentru versiunea echipată cu turbosuflanta cu colector de evacuare divizat, conducând la creșterea presiunii medii dezvoltate de motor cu 16%.

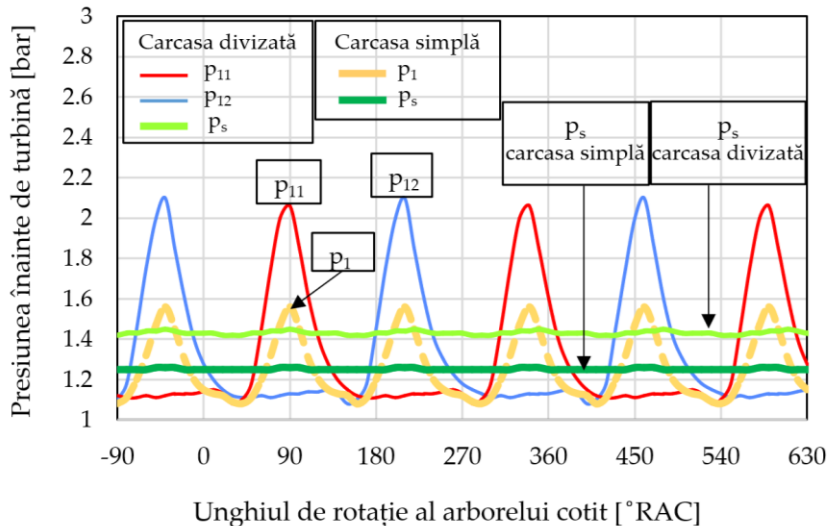


Fig. 2.2 Variația presiunii înainte de turbină pentru soluția cu carcasă simplă, respectiv carcasă cu colector divizat (adaptare după [7])

Aceasta contribuie la funcționarea turbinei și implicit a compresorului pe o curbă de eficiență mai ridicată, dar și la creșterea randamentului umplerii, prin scăderea volumului de gaze reziduale reținute în cilindri. La turații ridicate, având aceeași secțiune de trecere a gazelor ca varianta cu colector simplu, nu prezintă performanțe diferite față de acesta. Acest concept oferă avantaje atât în regim de funcționare stabil, cât și în regim tranzitoriu. În cazul regimului stabil (fig. 2.3), un MAS turbosupraalimentat, echipat cu turbosuflantă convențională atinge momentul maxim la turația de 2000 rpm, însă prin ajustarea suprapunerii deschiderii supapelor turația de moment maxim scade la 1550 rpm, o ameliorare considerabilă față de modelul de bază. Prin echiparea motorului cu turbosuflantă cu două volute, turația de

moment maxim scade la 1500 rpm, fără modificarea diagramei fazelor de distribuție față de modelul de bază.

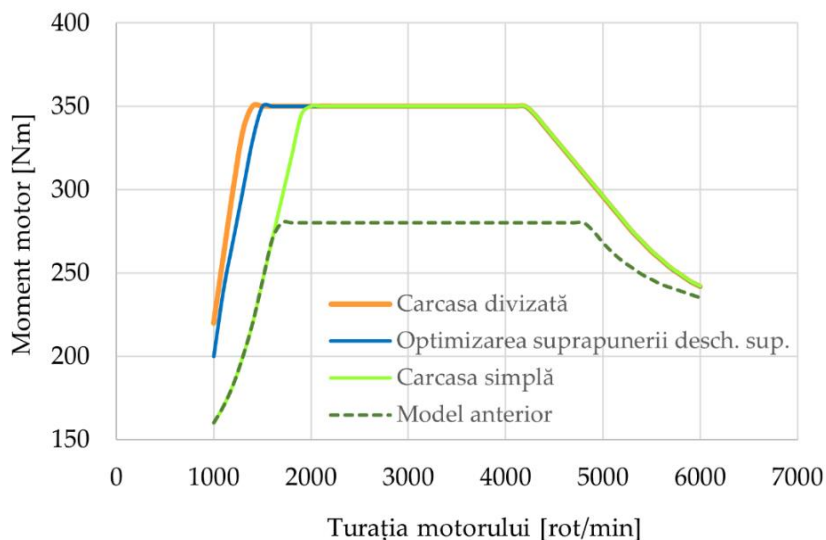


Fig. 2.3 Performanțe superioare pentru carcasa divizată, la turații mici  
– adaptare după [8]

În același timp a fost documentată îmbunătățirea performanțelor și în regim tranzitoriu a motoarelor echipate cu acest sistem de supraalimentare [7]. În acest scop au fost realizate mai multe simulări cu aceste sisteme, pentru treapta a 3-a de mers a unui autovehicul de clasă medie, pornind de la turația de 1500 rpm. Utilizând turbosuflanta de bază, din momentul apăsării totale a pedalei de accelerație sunt necesare 6 s pentru atingerea presiunii nominale de supraalimentare în galeria de admisie (fig. 2.4). Simulările efectuate cu o turbină având dimensiuni cu 30% mai mici arată o îmbunătățire a performanțelor tranzitorii cu 28% față de versiunea de bază. Atașând o turbosuflantă cu două volute și rulând simulările în aceleași condiții ca și pentru celelalte două turbine, a fost observată o reducere a timpului necesar atingerii presiunii de supraalimentare nominale cu 50% față de cât era necesar pentru versiunea de bază. Momentul motor maxim este atins în jurul punctului de presiune maximă de supraalimentare, ceea ce implică o creștere



substanțială a momentului motor tranzitoriu pentru versiunea echipată cu turbosuflantă cu două volute.

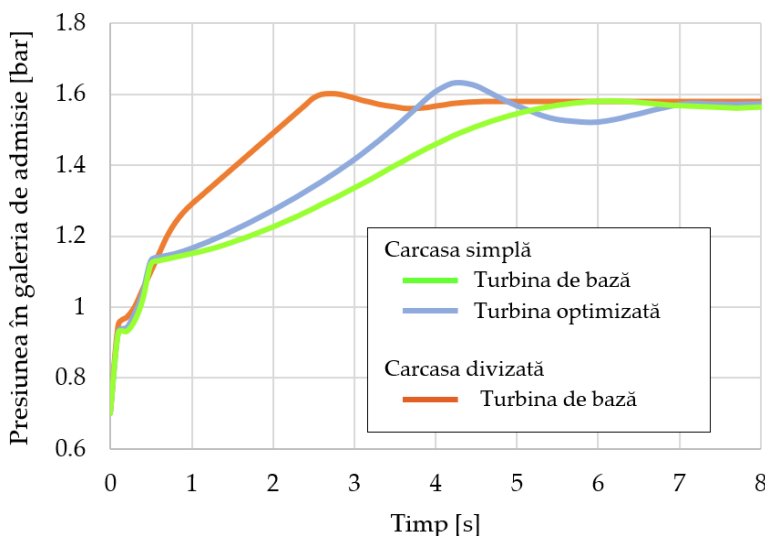


Fig. 2.4 Îmbunătățirea performanțelor tranzitorii utilizând turbosuflante cu două volute – adaptare după [7]

Această soluție de optimizare face posibilă ameliorarea sensibilă a performanțelor tranzitorii ale motoarelor în zona turațiilor mici, la un cost suplimentar nesemnificativ. Studiile experimentale indică o îmbunătățire a răspunsului la accelerație de 15% în domeniul de turații de la 1000 la 1500 rpm [9]. Se utilizează frecvent atât pentru MAS cât și pentru MAC, în cazul motoarelor care trebuie să satisfacă cerințe mai exigente în ceea ce privește caracteristica de moment motor.

## 2.2. Supraalimentarea asistată electric

Scopul asistării electrice a sistemului de supraalimentare este de a îmbunătăți răspunsul tranzitoriu al motorului cu ardere internă la turații reduse, când turația turbosuflantei este redusă și operează cu eficiență redusă [10]. Principal există două direcții de dezvoltare a acestor sisteme: motorul electric antrenează un compresor separat sau este înglobat în

carcasa turbosuflantei [11], și asigură accelerarea mai rapidă a rotorului acesteia (fig. 2.5).

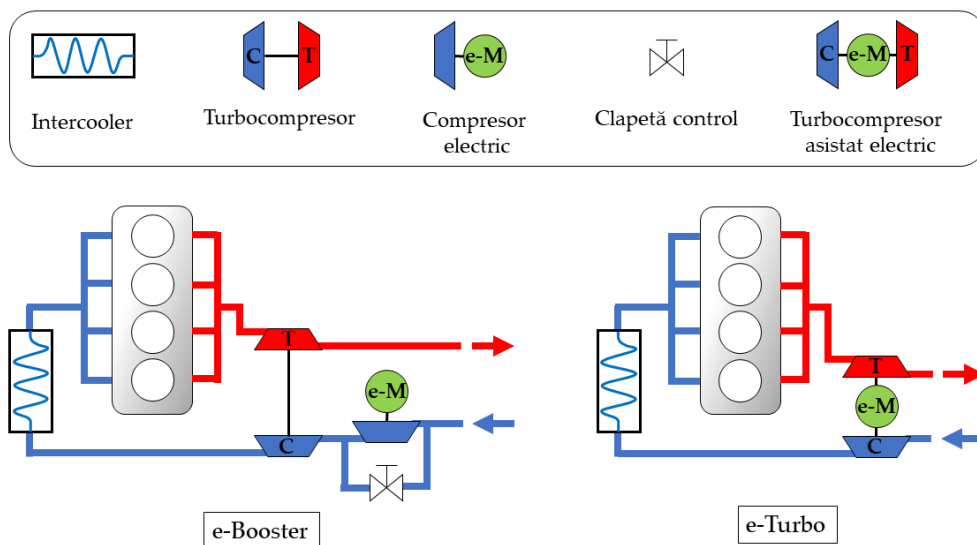


Fig. 2.5 Compresor acționat electric (e-Booster) și turbosuflanta asistată electric (e-Turbo)

Compresorul acționat electric permite o reoptimizare a motorului de bază pentru a obține o funcționare economică și cu poluare redusă, însă fără a compromite performanțele dinamice. Acest agregat, în cazul regimurilor tranzitorii compensează întârzierea la accelerație a rotorului turbocompresorului și în acest fel emisiile de  $\text{NO}_x$  și funingine sunt ținute la valori reduse [12].

Acest compresor se utilizează în special la motoarele dezvoltate după conceptul "Downsizing", fiind foarte eficient în reducerea consumului specific de combustibil și a emisiilor poluante [13]. Datorită introducerii unui compresor cu o funcționare pe o plajă largă de debite masice de aer, permite funcționarea optimă a motorului atât la turații reduse, cât și la turații ridicate, astfel permite funcționarea și după conceptul de "Downspeeding" [14].

Turbosuflanta asistată electric are avantajul de a forma un singur ansamblu în care se regăsește și turbosuflanta, și componenta electrică de asistare, fiind un agregat compact, care nu necesită nici tubulatură suplimentară. Mai mult decât atât, deoarece în cazul multor regimuri de funcționare puterea

dezvoltată de turbină poate fi mai mare decât cea consumată de compresor, acest agregat poate funcționa și în mod de generator, permițând recuperarea energiei din gazele de evacuare [13]. Conform ultimelor teste, în regim extraurban se poate recupera tot ce consumă agregatul pe perioada accelerărilor, rămâne de dezvoltat funcționarea în mediul urban, unde actualmente se poate recupera 60-70% din energia consumată [15, 16].

Asistarea electrică a turbosuflantei introduce și posibilitatea de a controla temperatura gazelor în amonte de turbină. În special în cazul MAC la anumite regimuri de funcționare se depun eforturi pentru a crește temperatura sistemelor de depoluare în vederea obținerii unor eficiențe ridicate la conversia poluanților. În cazul asistării electrice a turbosuflantei, geometria variabilă se poate regla pentru a reduce scăderea entalpiei gazelor la trecerea prin turbosuflantă, favorizând astfel obținerea temperaturii optime a sistemelor de depoluare [17]. Numărul de modele de autovehicule echipate cu astfel de sisteme de supraalimentare este în continuă creștere. Dintre MAC este prezentată funcționarea unui motor V8 de 4.0 l destinat autoturismelor de serie, cu compresor acționat electric. Acesta încorporează un sistem de supraalimentare secvențial, cu un turbocompresor activ de înaltă presiune, cu geometrie variabilă și un turbocompresor pasiv, de joasă presiune, cu geometrie fixă, care intervine de la turația de 2200 rpm (fig. 2.6).

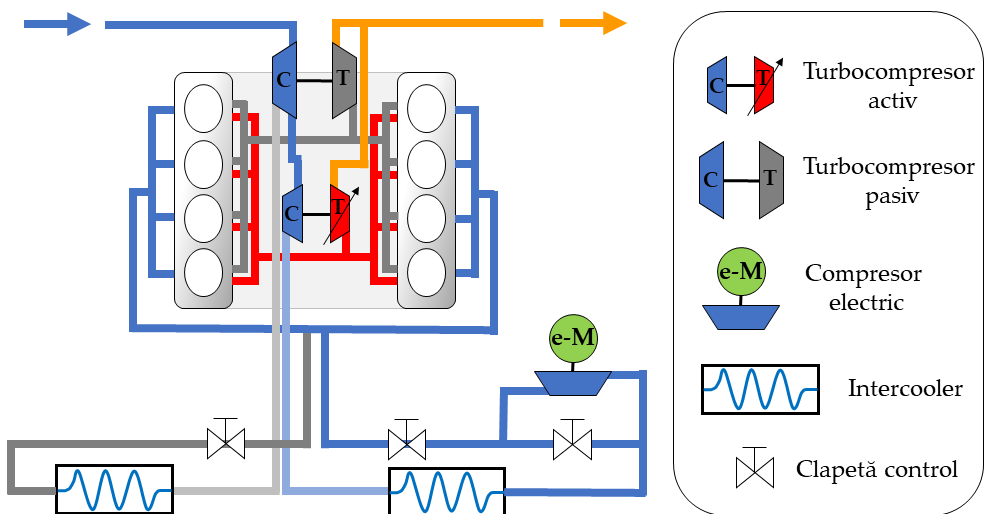


Fig. 2.6 Sistem de supraalimentare secvențial completat de un compresor electric

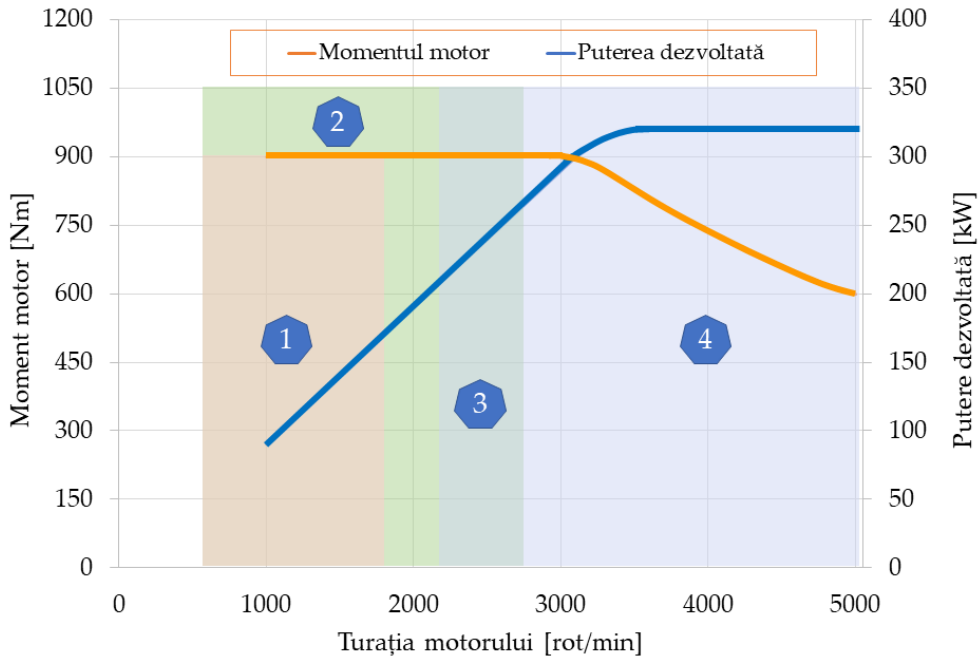


Fig. 2.7 Caracteristica de moment și de putere pentru motorul echipat cu compresor electric – adaptare după [18]

1 – suflantă electrică activă, 2 – mod monoturbo, 3 – regim de tranziție, 4 – mod biturbo

Acest grup este completat de un compresor electric, care are rolul de a crește presiunea de supraalimentare pe ramura turbocompresorului activ în domeniul turațiilor scăzute ale motorului. În acest fel la apăsarea pedalei de accelerație de către conducătorul auto presiunea de supraalimentare crește brusc, motorul dezvoltând momentul maxim de la turația de 1000 rpm (fig. 2.7).

Unul dintre modelele de motoare cu aprindere prin scânteie echipate cu un compresor electric în vederea obținerii unor performanțe dinamice ridicate are o cilindree totală de 1.6 l și este turbosupraalimentat. Compresorul electric este intercalat între filtrul de aer și turbosuflantă, aceasta precomprimând aerul care intră în turbosuflantă, pentru a optimiza răspunsul la accelerație.

Deoarece în cadrul acestor aplicații se urmărește îmbunătățirea caracteristicii de moment a motorului la turații reduse, cel mai important criteriu pe baza căreia se aleg componentele sistemului este inerția redusă, pentru a-i conferi un răspuns tranzitoriu cât mai performant.

Caracteristicile de performanță ale compresorului electric cu care este echipat acest motor se regăsesc în tabelul 2.1 [19].

*Tabelul 2.1 Caracteristicile de performanță ale compresorului electric*

Parametrul	Performanțe
Gradul de comprimare maxim	1,47
Debitul maxim de aer refulat	500 kg/h
Turația nominală	70.000 rpm
Timpul necesar atingerii turației maxime	< 350 ms
Putere nominală rotor	5 kW
Consum de curent – mers în gol	2,8 A
Consum de curent – accelerare	460 A
Consum de curent – stare stabilizată	250 A
Temperaturi de operare	-40 la + 125 °C

Testele de elasticitate efectuate în special în treptele superioare, cu și fără compresorul electric activ cu autovehiculul echipat cu acest compresor electric au evidențiat viabilitatea acestei soluții constructive [20].

În cazul accelerării de la 1000 rpm în treapta a patra, momentul motor dezvoltat (când compresorul electric este activ) depășește (cu o valoare situată între 90 și 100 Nm, ceea ce corespunde la un surplus de 50-60% a momentului, în funcție de turație) momentul dezvoltat cu turbosuflanta de serie pe o durată de 7 s. Diferența de timp măsurată între cele două vârfuri de moment motor este de 2,3 s, exact durata de timp cu cât autovehiculul (cu suflanta electrică activă) atinge mai devreme viteza de deplasare de 80 km/h (fig. 2.8).

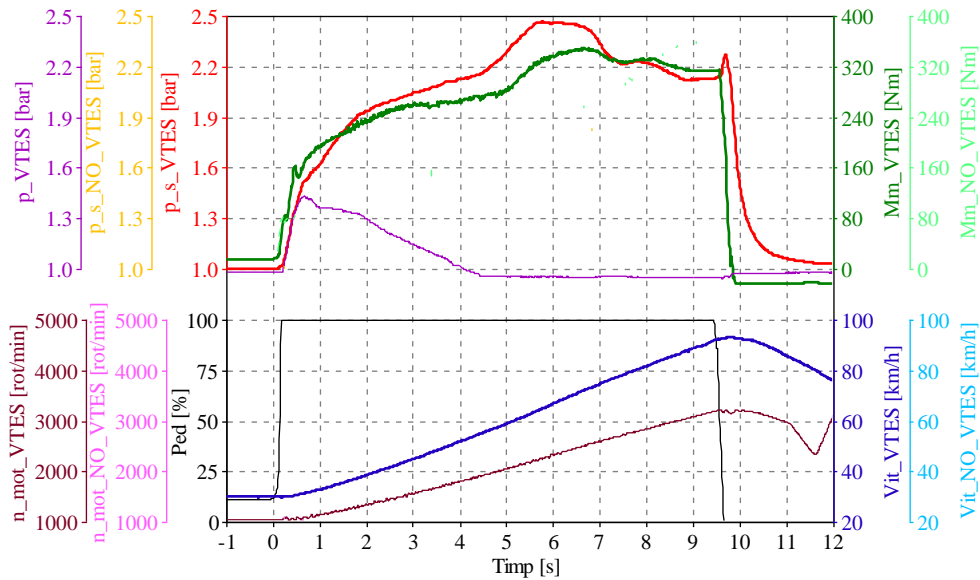


Fig. 2.8 Compararea rezultatelor măsurate, în treapta a 4-a, de la turația de 1000 rpm [20]

Este evident faptul că aceste sisteme auxiliare de reducere a întârzierii la accelerație sunt foarte utile în special la regimul de turații reduse ale motorului, aportul lor la creșterea momentului motor fiind deosebit de mare în aceste condiții.

Cu astfel de unități de asistare, alimentarea cu aer a motorului în domeniul turațiilor mici și în timpul funcționării tranzitorii poate fi îmbunătățită în mod semnificativ. Prin aceasta se reduce consumul de combustibil și emisiile de poluanți [21], și se îmbunătățește semnificativ dinamica autovehiculului [14].

## 2.3. Concluzii

În vederea satisfacerii cerințelor privind poluarea, emisiile de gaze cu efect de seră, consumul de combustibil și nivelul de performanță dinamică a autovehiculelor, supraalimentarea motorului este inevitabilă. În această perspectivă sunt introduse din ce în ce mai multe sisteme cu geometrie variabilă pentru MAS, sisteme de supraalimentare secvențială în trepte și

sisteme de supraalimentare electrică – atât pentru motoare de autoturisme cât și în cazul motoarelor cu capacitate cilindrică mare.

Se constată că cele mai avantajoase soluții sunt cele ale supraalimentării cu compresor acționat electric, respectiv turbocompresor asistat electric, soluții care la ora actuală oferă cele mai consistente îmbunătățiri ale performanțelor tranzitorii, permit obținerea unor puteri specifice la nivelul motoarelor de curse și permit eficientizarea funcționării sistemelor de depoluare, la un preț inferior soluției de supraalimentare secvențială.

Aceste sisteme sunt dezvoltate în permanență pentru a optimiza și mai mult timpul de răspuns, respectiv eficiența caracteristică a compresorului.

## 2.4. Bibliografie

- [1] Schneider, T., "Turbochargers as Efficiency Boosters," MTZ Worldwide 80(10), 2019, doi:10.1007/s38313-019-0122-0.
- [2] Penzel, M., Bevilacqua, V., and Böger, M., "Meeting Future Emission Standards with Turbocharged High-Performance Gasoline Engines," MTZ Worldwide 81(6), 2020, doi:10.1007/s38313-020-0230-x.
- [3] \*\*\* MarketResearch.com, "Europe Automotive Turbocharger Market Outlook, 2027," Apr. 2023.
- [4] Feneley, A.J., Pesiridis, A., and Andwari, A.M., Variable Geometry Turbocharger Technologies for Exhaust Energy Recovery and Boosting-A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 71, 2017, doi:10.1016/j.rser.2016.12.125.
- [5] Lückmann, D., Uhlmann, T., Kindl, H., and Pischinger, S., "Separation in Double Entry Turbine Housings at Boosted Gasoline Engines," MTZ Worldwide 74(10), 2013, doi:10.1007/s38313-013-0094-4.
- [6] Vollrath, O., Storz, O., Lautenschütz, P., and Buchholz, K., "The New Mercedes-Benz In-line Six-cylinder Gasoline Engine with 48-V Electrification," MTZ Worldwide 79(5), 2018, doi:10.1007/s38313-018-0015-7.
- [7] Bjornsson, H., Collinder, M., and Daunius, O., "SI6T – A new generation of 6 cylinder turbo engines from Volvo Car Corporation," 12. Aufladetechnische Konferenz : 27.-28. September 2007, Dresden, Dresden, 2007.
- [8] Sonner, M., Wurms, R., Eiser, A., and Hatz, W., "Audi TFSI: Aufladung und Directeinspritzung innovative Technologien für die Zukunft," 12. Aufladetechnische Konferenz : 27.-28. September 2007, Dresden, Dresden, 2007.



- [9] Wei, J., Xue, Y., Deng, K., Yang, M., and Liu, Y., "A direct comparison of unsteady influence of turbine with twin-entry and single-entry scroll on performance of internal combustion engine," *Energy* 212, 2020, doi:10.1016/j.energy.2020.118638.
- [10] Chen, B., Zhang, L., Han, J., and Zhang, Q., "A combination of electric supercharger and Miller Cycle in a gasoline engine to improve thermal efficiency without performance degradation," *Case Studies in Thermal Engineering* 14, 2019, doi:10.1016/j.csite.2019.100429.
- [11] Zi, D., Zhang, L., Chen, B., and Zhang, Q., "Study of the electric-booster and turbo-generator system and its influence on a 1.5 L gasoline engine," *Appl Therm Eng* 162, 2019, doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.114236.
- [12] Schaub, J., Frenken, C., Holderbaum, B., Griefnow, P., Savelsberg, R., and Coppin, O., "FEV ECObrid – a 48V mild hybrid concept for passenger car Diesel engines," 2017, doi:10.1007/978-3-658-17109-4\_15.
- [13] Breitbach, H., Jausel, H., Garrard, T., and Metz, D., "Electrically Assisted Supercharging Status Quo and Outlook," *MTZ Worldwide* 79(11), 2018, doi:10.1007/s38313-018-0102-9.
- [14] Davies, P., Bontemps, N., Tietze, T., and Faulseit, E.T., "Electric Turbocharging - Key Technology for Hybridized Powertrains," *MTZ Worldwide* 80(10), 2019, doi:10.1007/s38313-019-0096-y.
- [15] Schneider, T., "'E-turbos are Providers and not Consumers of Electricity,'" *MTZ Worldwide* 82(7–8), 2021, doi:10.1007/s38313-021-0671-x.
- [16] Bontemps, N., Bas, A., Ladonnet, M., Zecchetti, D., Heintz, S., and Davies, P., "Electric turbo, a key technology to achieve Eu7 hybridized powertrain ( $\lambda$  1, performance and energy efficiency)," 2019, doi:10.1007/978-3-658-26528-1\_6.

- 
- [17] Werner, R., Roß, T., Stiegler, M., and Atzler, F., "More than Boosting - The Turbocharger with Electric Machine," MTZ Worldwide 81(10), 2020, doi:10.1007/s38313-020-0273-z.
- [18] \*\*\* Audi, SSP 652 Audi 4.0L V8 TDI Engine Of EA898 Series, 2017.
- [19] Breitbach, H., Christmann, R., Gabriel, H., and Metz, D., "The Second Generation eBooster from BorgWarner," MTZ Worldwide 81(9), 2020, doi:10.1007/s38313-020-0257-z.
- [20] Kocsis, L., "Studii și cercetări privind posibilitățile de îmbunătățire a performanțelor M.A.I. prin intermediul supraalimentării," 2012.
- [21] Rode, M., Suzuki, T., Iosifidis, G., and Scheuermann, T., "Electric Turbocharger Concept for Highly Efficient Internal Combustion Engines," MTZ Worldwide 80(7-8), 2019, doi:10.1007/s38313-019-0056-6.

### 3. TEHNOLOGII AVANSATE ÎN DOMENIUL COMBUSTIBILILOR PENTRU AUTOVEHICULE

#### 3.1. Introducere

Numărul de vehicule pe șoselele europene este în continuă creștere ceea ce atrage după sine și o creștere a cererii de energie necesară propulsiei acestora. Conform ultimului raport al Asociației Europene a Producătorilor de Automobile, flota de vehicule rutiere (autoturisme, furgonete, camioane și autobuze) a Uniunii Europene era la nivelul anului 2020 de 281.975.401 vehicule, în creștere cu 1,2% față de 2019. Creșterea cea mai mare de 5,4% a fost înregistrată în cazul României, în timp ce flota de vehicule rutiere a Franței a scăzut cu 0,3% [1]. Cu toate că au existat numeroase progrese din punct de vedere al eficienței energetice al sistemelor de propulsie [2–3], ponderea transporturilor în totalul de consum de energie la nivel european, a rămas aproximativ o treime [4].

În ceea ce privește emisiile de gaze cu efect de seră (dioxid de carbon -  $\text{CO}_2$ , metan -  $\text{CH}_4$ , protoxid de azot -  $\text{N}_2\text{O}$ , hidrofluorocarburi - HFC, perfluorocarburi - PFC, hexafluorură de sulf -  $\text{SF}_6$  și trifluorură de azot -  $\text{NF}_3$ ), transportul rutier are aportul cel mai mare (77%) din sectorul de transport. Se preconizează însă că, prin măsurile existente și viitoare, decarbonizarea transportului rutier va avea loc mai rapid decât a altor moduri de transport [5]. Electrificarea sectorului de transport utilizând electricitate verde pare a fi una dintre căile cele mai eficiente în acest sens [6]. Deși numărul de vehicule cu propulsie hibridă și electrică a cunoscut o creștere accelerată în ultimii ani, ponderea lor în flota globală rămâne una modestă (la nivelul anului 2020: 0,5% propulsie electrică, 0,6% propulsie plug-in hibridă și 1,2% propulsie hibridă) [1]. Structura parcului de autovehicule rutiere este reflectată și în evoluția necesarului de combustibili din ultimii 20 de ani (fig. 3.1) [7]. Popularitatea motoarelor Diesel (începând de acum cca. 25 de ani) a

condus la scăderea cererii de benzine, însă, în urma problemelor de poluare descoperite la numeroși producători de motoare diesel și a politicilor agresive în direcția interzicerii acestor motoare, din 2019 a început o scădere a cererii de motorine și o creștere a cererii de benzine. Pe termen lung se are în vedere înlocuirea combustibililor clasici cu soluții mai puțin sau deloc poluante, însă mixul de combustibili alternativi va trebuie să țină cont de repartizarea cererii pe tipurile de MAI.

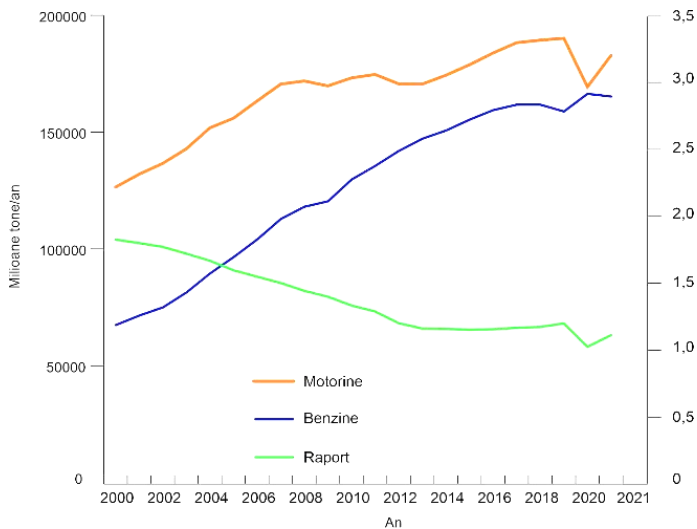


Fig. 3.1 Evoluția necesarului de combustibil în perioada 2000-2020 la nivelul UE27

În 2014 Consiliul European a hotărât ca cel puțin 27% din întregul consum de energie în UE să provină din surse regenerabile, iar până în 2030, cel puțin 0,5% din aprovizionarea cu combustibil în transport trebuie să provină din biocombustibili de a doua generație [9]. Ulterior s-a elaborat documentul „Pregătiți pentru 55 – Fit for 55”, prin care, Uniunea Europeană impune obligativitatea ca până în 2030 emisiile cu efect de seră la nivelul UE să fie reduse cu minim 55% și propune ca UE să devină neutră în ceea ce privește emisiile cu efect de seră până în 2050 [8]. Pentru domeniul transporturilor rutiere, documentul conține informații cu privire la sprijinirea statelor membre pentru atingerea obiectivelor naționale și stimularea tehnologiilor inovative în acest sector, însă, totodată propune practic eliminarea emisiilor cu efect de seră în cazul autoturismelor și camionetelor (autoutilitarelor)

până în 2035. În fapt acest lucru presupune eliminarea MAI din propulsia acestor categorii de autovehicule. De asemenea, se propune o adaptare a legislației, astfel încât să fie facilitată dezvoltarea infrastructurii de alimentare cu combustibili alternativi pentru toate modurile de transport. Mai mult decât atât, pachetul de documente propune creșterea obiectivului actual al UE privind sursele de energie regenerabilă de la 32% la cel puțin 40% până în 2030 [8, 9]. Acest deziderat este susținut de creșterea continuă a producției de biocombustibil la nivelul UE (fig. 3.2).

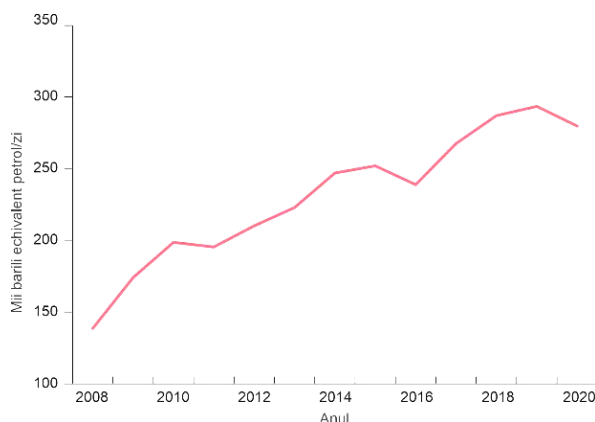


Fig. 3.2 Evoluția producției de biocombustibili în perioada 2008-2020 la nivelul UE27

### 3.2. Tehnologii curente utilizate pentru fabricarea combustibililor pentru autovehicule rutiere

La ora actuală, pe lângă tehnologiile clasice de fabricare a combustibililor din țiței, există o diversitate semnificativă de tehnologii alternative și inovatoare prin care motorinele și benzinele pot fi înlocuite parțial sau integral, fără a fi necesară reproiectarea, sau modificarea motorului cu ardere internă sau a sistemului de alimentare al acestuia. Principalele căi (tehnologii) de producere a combustibililor pentru autovehicule sunt prezentate în figura 3.3. O subcategorie relativ recentă, dar cu un important potențial, este constituită de așa numiții combustibili *drop-in*, care pot fi amestecați cu combustibilii fosili și care pot fi obținuți din materii prime de origine biogenă. Principala problemă a combustibililor din surse biogene este

puterea calorică redusă datorită prezenței oxigenului în compoziția lor chimică. Principalele cerințe impuse acestor tipuri de combustibili sunt prezentate în tabelul 3.1 [10].

Conform acestor cerințe, datorită miscibilității limitate a acestora, din această categorie sunt excluși alcoolii ca și componente de amestec în motorine, precum și combustibilii gazoși, a căror utilizare ar presupune modificarea sistemului de alimentare a MAI.

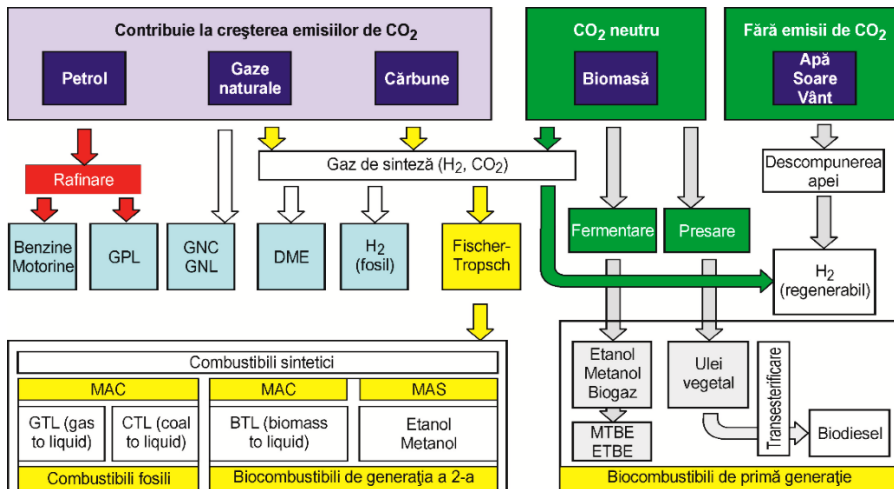


Fig. 3.3 Principalele căi (tehnologii) de producere a combustibililor pentru autovehicule

Tabelul 3.1 Cerințele impuse combustibililor de tip drop-in

Cerințe funcționale	Cerințe legate de compoziția chimică
Miscibilitate cu combustibilii petrolieri	Conținut zero sau redus de oxigen
Compatibilitate cu combustibilii petrolieri	Solubilitatea redusă a apei
Stabilitate la depozitare	Raportul H/C apropiat de 2 (ca în cazul combustibililor fosili)
Distribuirea cu logistica existent	Hidrocarburi înalt saturate
Posibilitatea utilizării la alimentarea MAI existente	

### 3.3. Biocombustibilii și conversia biomasei în biocombustibili

Biocombustibilii sunt combustibili alternativi obținuți din biomasă. De regulă, acești combustibili sunt destinați motoarelor cu ardere internă (MAI) fabricate utilizând tehnologiile actuale, motiv pentru care trebuie să satisfacă cerințele de calitate valabile pentru combustibilii comerciali conform legislației curente. Conform Directivelor 30/2003/CE și 28/2009/CE sunt considerați biocombustibili bioetanolul, biodieselul, biogazul, biometanolul, biodimetileterul, bio-ETBE (etil-terț-butil-eter), bio-MTBE (metil-terț-butil-eter), biocombustibilii sintetici, biohidrogenul, uleiul vegetal nemodificat din punct de vedere chimic. În funcție de tipul materiei prime și a tehnologiei de conversie se deosebesc patru generații de biocombustibili (prezentate comparativ în tabelul 3.2 [11]).

*Tabelul 3.2 Generațiile de biocombustibili*

Generația	Materia primă	Puncte tari	Puncte slabe
1	culturi alimentare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tehnologie de fabricare bine pusă la punct;</li> <li>• cercetări avansate privind utilizarea în MAI.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• materia primă utilizată este de uz alimentar;</li> <li>• producerea presupune utilizarea unor suprafețe agricole ce ar putea fi utilizată pentru producerea alimentelor;</li> <li>• eficiența fabricării și comercializării este dependentă de subvenții.</li> </ul>
2	culturi nealimentare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tehnologie de fabricare în stare de cercetare avansată;</li> <li>• materie primă de uz nealimentar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cercetări incipiente privind utilizarea în MAI;</li> <li>• tehnologii de fabricare costisitoare;</li> <li>• infrastructură de fabricare și distribuire în stare incipientă.</li> </ul>

Tabelul 3.2 Generațiile de biocombustibili (continuare)

Generația	Materia primă	Puncte tari	Puncte slabe
3	alge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• productivitate ridicată;</li> <li>• ciclu de carbon neutru;</li> <li>• materie primă de uz nealimentar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cercetări incipiente privind utilizarea în MAI;</li> <li>• tehnologii de fabricare costisitoare;</li> <li>• infrastructură de fabricare și distribuire inexistentă sau în stare incipientă.</li> </ul>
4	culturi modificate genetic cu ciclu de carbon neutru	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ciclu de carbon negativ;</li> <li>• materie primă de uz nealimentar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cercetări aproape inexistente privind utilizarea în MAI;</li> <li>• tehnologii de fabricare experimentale și costisitoare;</li> <li>• infrastructură de fabricare și distribuire existente doar la nivel pilot.</li> </ul>

**Generația 1.** Materia primă este biomasa, care are sau ar putea avea și uz alimentar: surse de zahăr, amidon și ulei vegetal. Din această categorie fac parte *uleiurile vegetale* (obținute din semințele sau fructele unor plante oleaginoase: rapiță, soia, floarea soarelui etc.); *bioalcoolul* (obținut din zahăr și amidon de origine vegetală: sfeclă de zahăr, cartofi, cereale etc.); *biodieselul* (obținut prin transesterificarea uleiurilor vegetale sau a grăsimilor de origine animală) și *biogazul* (amestec de gaze precum metan, hidrogen și dioxid de carbon, având o concentrație ridicată de metan, obținut prin procesele de fermentație sau gazeificare a diferitelor substanțe organice) [11]. Cu toate că s-a demonstrat că utilizarea lor conduce la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, acești combustibili prezintă și o serie de dezavantaje: în lipsa unor subvenții costurile de producție sunt mai ridicate decât a combustibililor petrolieri; obținerea unor producții agricole ridicate presupune utilizarea unor substanțe fito-sanitare și fertilizatori ne-sustenabili, care limitează gradul de reducere globală a emisiilor cu efect de seră; utilizarea apei potabile pentru irigare; creșterea forțată a suprafețelor



agricole pe seama reducerii suprafețelor forestiere și nu în ultimul rând, competiția directă cu industria alimentară, considerată una imorală. Tehnologiile utilizate pentru obținerea biocombustibililor de primă generație sunt relativ simple și tradiționale [11]:

- ▶ *Uleiuri vegetale* - presare la rece și/sau la cald a materiilor prime oleaginoase, urmată de filtrare;
- ▶ *Biodiesel* – transesterificarea uleiurilor vegetale în prezența unor catalizatori (acizi, bazi, enzime), eventual în prezența ultrasunetelor, microundelor sau a fluidelor supercritice;
- ▶ *Bioetanol* – hidroliza enzimatică a amidonului, fermentare, distilare, rectificare.

**Generația a 2-a.** Materia primă este biomasa lignocelulozică, de uz nealimentar – produse agricole secundare și deșeuri (frunze, coceni, deșeuri forestiere etc., dar și deșeuri municipale și industriale, cum ar fi rumegușul de lemn, coajă și pulpă de fructe), ale căror conținut de lignină, celuloză și hemiceluloză se pot transforma prin tehnologii de a doua generație în biocombustibili [12]. Principalii biocombustibili de generația a 2-a sunt: *biomotorina* – obținută din biomasă prin reacția Fischer-Tropsch; *biometanolul* – poate fi utilizat în MAI adaptate sau în amestec cu benzină până la concentrații de 10...20%, fără modificări majore ale infrastructurii de distribuție a benzinei și a motorului; *bio-dimetileterul (bio-DME)* – se obține din biometanol prin deshidratare catalitică sau poate fi obținut direct din biogaze de sinteză și poate fi utilizat ca și combustibil în motoare cu aprindere prin comprimare; *biohidrogenul* – se poate utiliza în motoare special modificate sau în pile de combustibil; *amestecuri de alcooli* – pot fi produse din biogaz de sinteză prin cataliză și sunt formate cu preponderență din etanol, propanol și butanol, precum și cantități reduse de pentanol, hexanol, heptanol și octanol; datorită conținutului de alcooli superiori, puterea calorică a amestecurilor de alcooli este superioară etanolului sau metanolului, având și o toleranță la apă crescută; *biometanolul* – se produce din biomasă prin reacția Sabatier (reacția dintre hidrogen și dioxid de carbon, la

temperaturi și presiuni ridicate, în prezența unui catalizator de nichel, rezultând gaz metan și apă) [11].

Principalele provocări legate de biocombustibilii de generația a 2-a sunt legate de complexitatea proceselor de producție, transport, recoltare și pre-tratare a materiilor prime [12]. Tehnologiile de obținere a biocombustibililor de generația a 2-a cunosc o dezvoltare rapidă ce va conduce la reducerea semnificativă a costurilor de producție, permițând astfel ca acești combustibili să intre în competiție cu combustibilii fosili [12]. Procesele tehnologice se împart în [10]:

- ▶ *procese oleochimice* (hidroprocesarea esterilor și acizilor grași; hidrotermoliză catalitică);
- ▶ *procese termochimice* (piroliza rapidă; gazeificare);
- ▶ *procese biochimice* ce utilizează materii prime de tip alcoolii, hidrocarburi, acizi grași, materii zaharoase.

Schema hidroprocesării (hidrotratării) esterilor și acizilor grași (HEAG) este prezentată în figura 3.4. Materia primă (ulei vegetale, trigliceride, ulei alimentar uzat, grăsimi de origine animală, etc.) este transformat în combustibili lichizi și gazoși în trei trepte prin hidrogenare și izomerizare. Pretratarea materiei prime are scopul de a elimina impuritățile solide prin filtrare. Particulele solide solubile în materia primă se elimină prin degumare (formarea de săpunuri în prezența soluției de NaOH). Particulele solide astfel formate se elimină prin centrifugare. Hidroprocesarea propriu-zisă are loc în două trepte: hidrogenarea catalitică (saturarea legăturilor duble cu hidrogen în prezența catalizatorilor metalici), dezoxigenarea (creșterea puterii calorice), urmată de cracarea moleculelor saturate și izomerizarea acestor în molecule ramificate în scopul reducerii temperaturii de solidificare a produselor. Hidrocarburile rezultate sunt lichide în proporție de 80%, restul fiind gaze: propan, metan, CO și CO<sub>2</sub>. Gazele combustibile pot fi utilizate pentru asigurarea energiei termice din cadrul proceselor, în timp ce hidrocarburile lichide sunt separate în fracții prin distilare pentru a obține motorină, kerosen și nafta.

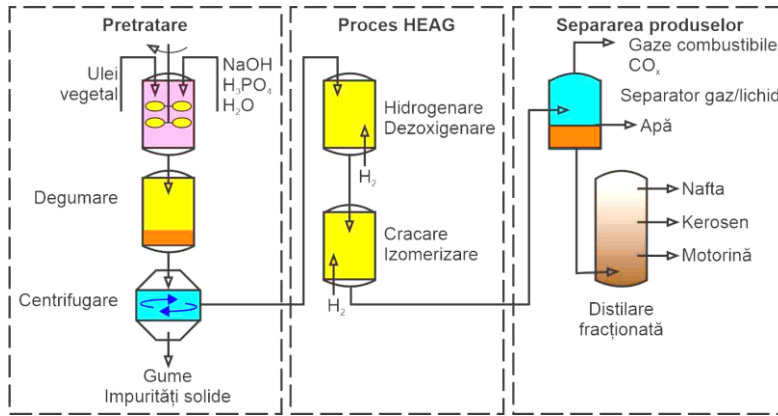


Fig. 3.4 Schema hidroprocesării (hidrotratării) esterilor și acizilor grași

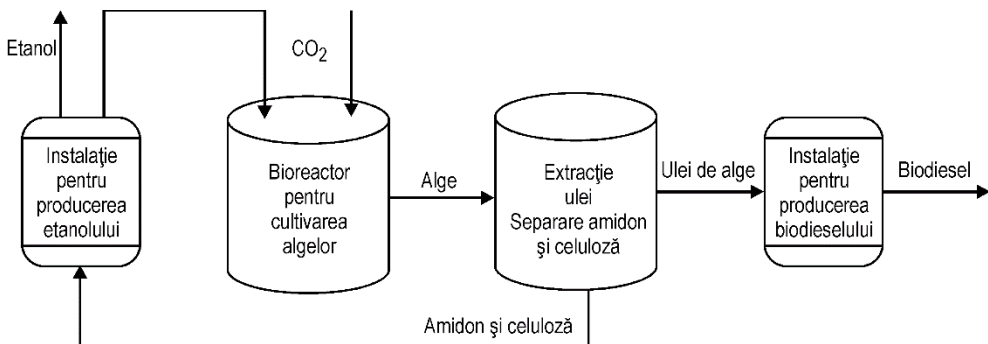


Fig. 3.5 Producerea etanolului și a biodieselului din alge

**Generația a 3-a.** Materia primă sunt algele, din care, prin diferite procedee se obține etanol sau alte uleiuri, biodiesel și bioalcooli (etanol, metanol, butanol). Procesarea algelor în scopul fabricării biocombustibililor are avantajele unei producții ridicate de 50...60 mii L/ha pe an, algele asimilând în perioada dezvoltării cantități importante de  $CO_2$  și  $N_2O$  din atmosferă. După unii cercetători, în categoria biocombustibililor de generația a 3-a se includ și combustibilii obținuți din biomasă neutră din punctul de vedere al ciclului de carbon (plante modificate genetic). Fermele pentru cultivarea algelor devin și mai rentabile dacă producția este valorificată în întregime: din ulei se fabrică biodiesel, din amidon și celuloză se produce bioetanol (fig. 3.5), iar produsele secundare pot fi valorificate energetic sau ca nutrețuri pentru animale.

**Generația a 4-a.** Utilizează ca materie primă plante modificate genetic care asigură un bilanț de CO<sub>2</sub> negativ pe durata procesării lor în scopul fabricării și în perioada utilizării ca biocombustibili. Datorită tehnologiilor multiple utilizate la fabricarea biocombustibililor de generația a 4-a, la ora actuală nu există o definiție clară a acestor tipuri de biocombustibili. În esență, biomasa (plante modificate genetic) în perioada dezvoltării consumă mai mult CO<sub>2</sub> decât cantitatea generată pe durata arderii biocombustibilului în MAI.

### 3.4. e-Combustibili

Deoarece o parte din sectorul de transport nu poate fi electrificat în condițiile tehnologice actuale datorită necesarului ridicat de densitate energetică (transportul rutier de marfă pe distanțe mari, tractoare agricole de putere ridicată, transportul naval și aerian, etc.), decarbonizarea acestor moduri de transport se poate realiza doar prin utilizarea unor combustibili neutri din punctul de vedere al ciclului de CO<sub>2</sub>. O astfel de soluție este conversia energiei electrice în diferite tipuri de combustibili, așa numite soluții *power-to-X* (sau conversia puterii electrice în lichide), unde X poate fi hidrogen, metanol, dimetil-eter, kerosen, amoniac, etc. Acești combustibili se mai numesc electro-combustibili [12]. Pentru a asigura neutralitatea din punctul de vedere al emisiilor de CO<sub>2</sub>, este obligatoriu ca energia electrică utilizată să fie verde (eoliană, fotovoltaică sau hidrolică), iar CO<sub>2</sub> utilizat în sinteza hidrocarburilor să fie captat din atmosferă sau procese de ardere din industrie. Un alt avantaj al acestor soluții constă în modul de stocare al energiei: stocarea energiei electrice este dificilă și costisitoare, mai ales pe termen lung, în timp ce stocarea lichidelor este ușoară, ieftină și la îndemână. Suplimentar, energia combustibililor lichizi poate fi reconvertită ușor înapoi în electricitate. Acest aspect este important din perspectiva integrării sistemelor generatoare de electricitate verde, a căror producție fluctuează considerabil (fluctuație diurnă sau sezonieră). Schema de integrare a producției de e-combustibili este redată în figura 3.6.

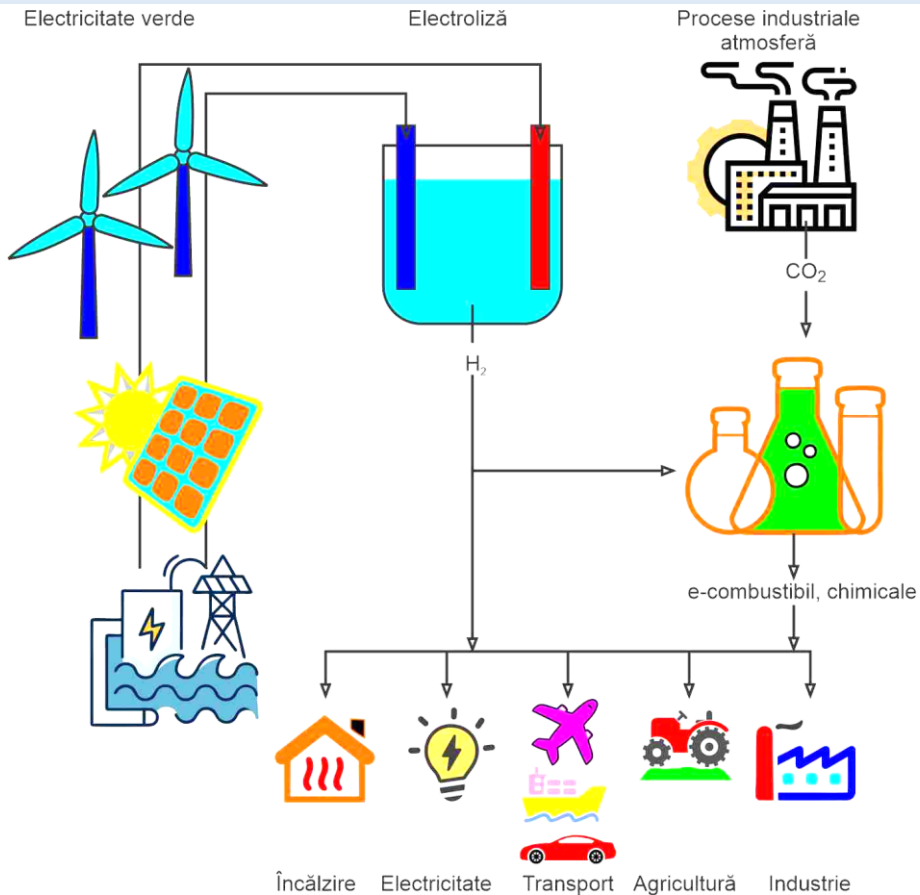


Fig. 3.6 Producerea e-combustibililor din electricitate verde (adaptare după [13])

### 3.5. Concluzii

Decarbonizarea transporturilor este problema cea mai stringentă a acestui sector. Deși electrificarea transporturilor apare ca soluția potrivită, tehnologia actuală a bateriilor nu permite aplicarea ei în toate cazurile. Prin urmare, dezvoltarea unor noi combustibili pentru motoarele cu ardere internă, care să asigure neutralitatea din punctul de vedere al circuitului de  $CO_2$  este impetuos necesară și urgentă. Combustibilii drop-in și e-combustibilii reprezintă alternative viabile la această problemă, deoarece pe lângă faptul că sunt neutrii din punct de vedere al circuitului de  $CO_2$ , pot folosi infrastructura de producție și de distribuție a combustibililor fosili.

### 3.6. Bibliografie

- [1] \*\*\* ACEA - European Automobile Manufacturers' Association, "Report - Vehicles in use, Europe 2022," Apr. 2023.
- [2] Stan, C., "Automobilele viitorului," ISBN 978-606-25-0427-4, 2018.
- [3] Stan, C., "Alternative Propulsion for Automobiles," ISBN 978-3-319-31930-8, 2017.
- [4] \*\*\* ODYSSEE-MURE, "Final energy consumption by energy sector in EU," <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/overview/final-energy-consumption-by-sector.html>, Apr. 2023.
- [5] \*\*\* European Environment Agency, "Greenhouse gas emissions from transport in Europe," <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>, Apr. 2023.
- [6] Skov, I.R. and Schneider, N., "Incentive structures for power-to-X and e-fuel pathways for transport in EU and member states," Energy Policy 168, 2022, doi:10.1016/j.enpol.2022.113121.
- [7] \*\*\* BP, "Statistical Review of World Energy," Apr. 2023.
- [8] European Council, "Fit for 55 - The EU's plan for a green transition - Consilium," <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>, Nov. 2022.
- [9] \*\*\* European Council, "2030 Climate and energy policy framework," 2014.
- [10] Drapcho, C.M., Nghiêm, N.P., and Walker, T.H., "Biofuels Engineering Process Technology," McGraw-Hill Education, ISBN 978-125-95-8572-2, 2020.
- [11] Barabás, I. and Todorut, A., "Combustibili pentru automobile: testare, utilizare, evaluare," UT-Press, Cluj-Napoca, ISBN 978-973-662-595-4, 2010.

- [12] Kargbo, H., Harris, J.S., and Phan, A.N., "Drop-in" fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135, 2021, doi:10.1016/j.rser.2020.110168.
- [13] \*\*\* Ramboll Group, "Power-to-X: paving the way for a greener future," <https://ramboll.com/net-zero-explorers/explainers/power-to-x-explained>, Apr. 2023.

## 4. TEHNOLOGII AVANSATE ÎN DOMENIUL TRANSMISIILOR DE AUTOVEHICULE

### 4.1. Introducere

Încă de la începuturi, dar mai ales în ultimii ani, industria de automotive a reprezentat și reprezintă industria unde au loc revoluții la fiecare etapă. Astăzi aceste schimbări sunt realizate de majoritatea constructorilor de autovehicule, în primul rând pentru a respecta normele impuse de organismele internaționale referitoare la reducerea emisiilor poluante, iar în al doilea rând pentru a ține pasul cu evoluția tehnologică majoră în care ne aflăm din punct de vedere al digitalizării. Dacă se compară standardele pentru emisiile „Euro 1” cu standardele pentru emisiile „Euro 6” se observă o reducere de peste 95 % a emisiilor poluante maxime admise atât pentru particulele solide cât și pentru oxizii de azot. Cu toate că aceste standarde sunt tot stricte an de an, emisiile poluante provenite de la arderea combustibililor fosili ocupă încă primele locuri din punct de vedere al poluării la nivel mondial. Ținându-se cont că vânzarea de autovehicule a tot crescut de la an la an, iar poluarea provenită de la combustibilii utilizați de motoarele cu ardere internă este în creștere, corelat cu faptul că prețul țițeiului se află în creștere de câțiva ani și rezervele de petrol sunt în scădere, au forțat oarecum constructorii de autovehicule să se adapteze și să găsească noi soluții pentru a putea ține pasul cu schimbările ce au loc.

Cea mai importantă modificare ce a fost decisă de către majoritatea constructorilor de autovehicule în ultimii ani, este echiparea autovehiculelor cu motoare electrice în dauna celor cu ardere internă, astfel încât emisiile poluante provenite de la autovehiculele echipate cu aceste motoare să fie „zero” în timpul deplasării. Pe lângă soluțiile de propulsie, modernizări constante s-au făcut în ultimii ani și în domeniul transmisiilor autovehiculelor, astfel că, deși există un procent mai mare de autovehicule echipate cu cutii de viteză manuale, tendința ultimilor ani arată o creștere tot mai mare de utilizare a cutiilor de viteze automate



Popularitatea autovehiculelor electrice este în creștere, atât datorită faptului că sunt considerate mai puțin poluante în comparație cu autovehiculele echipate cu motoare termice (evident ținând cont de sursa din care se produce energia electrică) cât și datorită costurilor mai scăzute din punct de vedere al întreținerii [1],[2] (trebuie avut însă în vedere un cost mai mare de achiziție). De exemplu în anul 2020 în plină pandemie de Covid-19 deși cererea de autovehicule clasice a scăzut, cererea de autovehicule echipate cu motoare electrice cu baterie (BEV - Battery Electric Vehicle = Vehicul alimentat exclusiv de un motor electric) și vehicule electrice hibride plug-in (PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle = Vehicul hibrid cu capacitatea de a încărca o baterie mică de la rețeaua electrică și de la motorul cu ardere internă) s-a dublat ajungând până la 6.6 milioane de unități vândute în anul 2021. Numărul total de autovehicule electrice pe drumurile publice a ajuns la peste 16.5 milioane de unități (fig. 4.1). Deoarece popularitatea acestora este în plină ascensiune, vânzările de vehicule electrice reprezintă mai mult de 10 % din totalul de vehicule vândute în prezent [3].

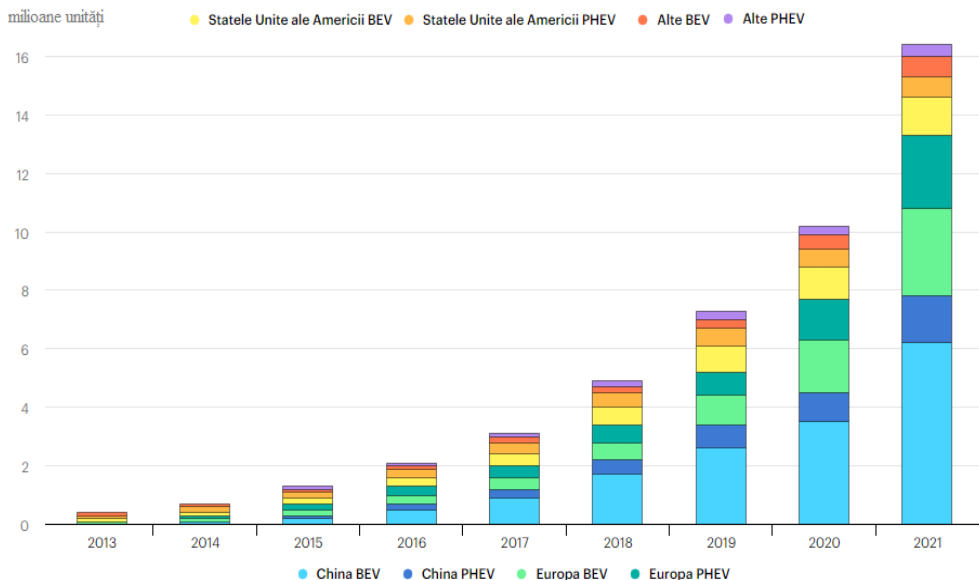


Fig. 4.1 Stocul global de autovehicule electrice în funcție de piață [3]

Popularitatea acestora fiind în plină ascensiune, vânzările de vehicule electrice reprezintă peste 10 % din totalul de vehicule vândute în prezent [3].

Popularitatea propulsiei electrice este în continuare mare în rândul consumatorilor, însă acest lucru s-ar putea schimba în viitor datorită cel puțin următoarelor dezavantaje:

- costul energiei electrice este în continuă creștere, iar dacă trend-ul se păstrează, avantajul din punct de vedere al costurilor pentru încărcarea bateriilor electrice în comparație cu costurile pentru achiziția de combustibili fosili va dispărea;
- autovehicule electrice pot fi considerate nepoluante doar în momentul în care energia de încărcare a bateriilor va proveni din surse regenerabile lucru care nu se întâmplă în prezent la un nivel optim, iar acest lucru nu se va schimba curând datorită faptului că producția de energie din surse regenerabile reprezintă doar aproximativ 25 % din totalul de energie produsă la nivel mondial. În plus, faptul că cererea de autovehicule electrice este în creștere, face ca energia produsă din surse regenerabile să nu fie suficientă pentru a acoperi cererea (fig. 4.2);

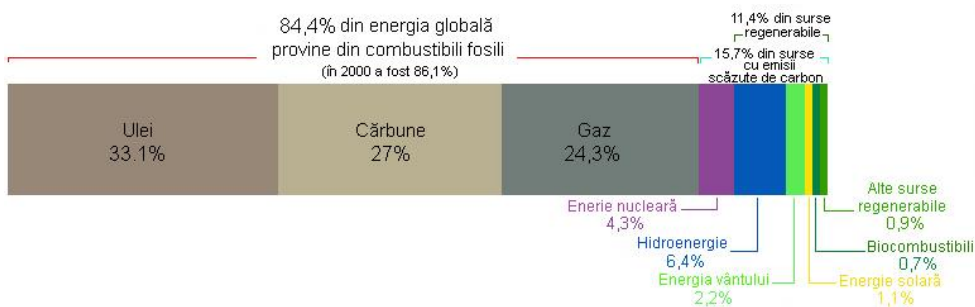


Fig. 4.2 Proveniența energiei primare [16]

- ▶ cantitatea de energie (raportată la masa sau volum) care se poate stoca la bordul autovehiculului, comparativ cu energia stocată în combustibilii clasici;
- ▶ timpul alocat pentru încărcarea bateriilor este (în funcție de soluția de încărcare, puterea de încărcare etc.) între 15 minute și 8 ore;
- ▶ un alt dezavantaj este reprezentat de autonomia inferioară (și diferită uneori de ceea ce prezintă constructorii) asigurată de autovehiculele electrice în comparație cu autonomia celor cu propulsie cu motoare termice. Autonomia este afectată în special de temperatură, acest fapt conducând și la dificultăți în estimarea precisă a autonomiei.

Indiferent de tipul motorului ales ca și sursă de energie, pentru realizarea propulsiei (adică ca momentul motor produs să poată ajunge la roțile motoare) este nevoie de sisteme de transmisie (ambreiaj, cutie de viteze, transmisie longitudinală, transmisie centrală, transmisie finală). Pe lângă sistemele de transmisie, ca autovehiculele să se poată deplasa în direcția de mers dorită este nevoie de un sistem de direcție. Suplimentar susținerea caroseriei, a mărfurilor și pentru confortul călătorilor este nevoie de sisteme de suspensie, iar pentru reducerea vitezei de deplasare este nevoie de sisteme de frânare.

Autoturismele ocupă primul loc din punct de vedere al vânzării de transmisii la nivel internațional (fig. 4.3), ponderea transmisiilor manuale fiind încă predominantă după cum se observă în figura 4.4.

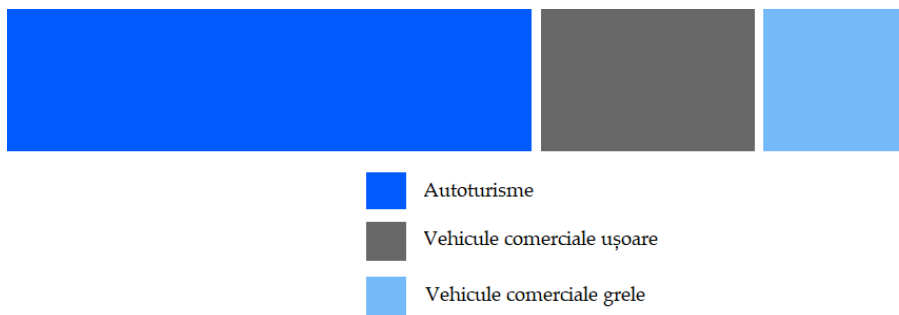


Fig. 4.3 Cota de piață a transmisiilor în funcție de tipul autovehiculului [14]

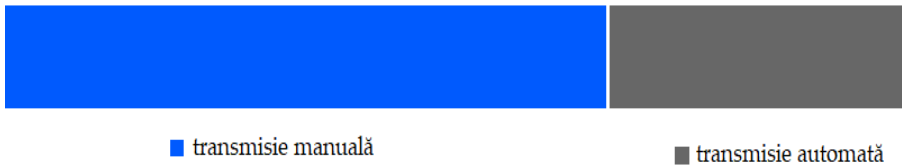


Fig. 4.4 Tipul transmisiilor utilizate la autovehicule la nivel internațional [14]

Potrivit unui articol din 1997 publicat de „Automotive News Europe”, doar 10-12% dintre autovehiculele noi din Europa aveau transmisii automate la acea vreme, în comparație cu peste 90% grad de utilizare a cutiilor automate în Statele Unite. În trecut, transmisiile automate erau de obicei varianta de echipare doar pentru autovehiculele premium. Statisticile din acel moment au arătat ca doar 10-20% din vânzările anuale de autovehicule noi aveau cutii de viteze automate. Acest lucru însă s-a schimbat destul de mult în ultimii ani. Transmisiile automate nu mai sunt destinate doar autovehiculelor de echipare premium. S-a făcut o schimbare în strategiile producătorilor, inclusiv adoptarea de noi tehnologii, cu scopul producerii unor cutii de viteze automate mai accesibile, permițându-se astfel tot mai multor utilizatori să se bucure de transmisiile automate. Astfel am asistat la o creștere constantă a utilizării de transmisii automate în Europa de la an la an. Majoritatea autovehiculelor de pasageri au început să fie echipate cu o variantă de transmisie automată, ca echipare opțională, oferind astfel consumatorilor o accesabilitate mai crescută în alegerea cutiilor de viteze automate. În timp ce creșterea numărului de autovehicule electrice a împiedicat oarecum creșterea vânzărilor de cutii de viteze automate în Europa, modelul hibrid a contrabalansat acest fapt contribuind la creșterea cotei de piață a cutiilor automate. Majoritatea autovehiculelor echipate cu propulsie hibridă sunt disponibile doar cu o opțiune de cutie de viteze automată. Ca atare, creșterea vânzărilor de autovehicule hibride a îmbunătățit implicit și vânzările de cutii de viteze automate [4].”

## 4.2. Transmisia autovehiculelor

### 4.2.1. Ambreiajul

Prima componentă din transmisia unui autovehicul este ambreiajul, el fiind plasat între motor și cutia de viteză cu rolul de a separa cinematic motorul de transmisie. Necesitatea ambreiajului a apărut cu scopul compensării principalelor dezavantaje ale motorului cu ardere internă [5].

Transmisiile auto bazate pe soluția cu ambreiaj uscat sunt utilizate la scară largă. Transmisia manuală este cea mai comună soluție de transmisie, în special pe piața europeană. O evoluție a acestei soluții este transmisia manuală automată (AMT) care a fost introdusă acum câțiva ani pentru autovehiculele de curse, fiind în prezent adoptată de tot mai multe tipuri de autovehicule. Principala diferență dintre transmisiile manuale și AMT-uri este aceea că cele din urmă sunt echipate cu un actuator inteligent care gestionează procesul de schimbare a treptelor de viteză ceea ce duce la îmbunătățirea performanțelor. Pe de altă parte, principalul dezavantaj al AMT-urilor este decalajul cuplului în timpul schimburilor de viteze care reduce confortul și eficiența la conducere. O soluție tehnologică care atenuează această problemă este transmisia uscată cu dublu ambreiaj. Spre deosebire de ambreiajul multidisc la care este conectat un singur arbore de intrare la discurile de ambreiaj, ambreiajul dublu se bazează pe două ambreiaje uscate separate pentru treptele pare și impare. Acest lucru se realizează printr-un arbore dublu coaxial în care fiecare arbore este conectat la un ambreiaj [6]. Principalele avantaje ale transmisiilor cu ambreiaj uscat sunt: cuplarea rapidă, fiabilitate ridicată, costuri reduse de producție și întreținere. Din păcate, ambreiajele uscate prezintă unele limitări din punct de vedere al cuplului maxim transmis față de cele umede datorită temperaturilor ridicate rezultate [6],[7].

#### 4.2.2. Cutia de viteze

Cutia de viteze are în principal rolul de modificare a vitezei dar și a forței de tracțiune în funcție de rezistența la înaintare [5].

În ultimii ani cutiile de viteze manuale și-au pierdut din popularitate, în schimb transmisiile cu dublu ambreiaj (DCT) au devenit foarte populare. Avantajul sistemelor DCT (fig. 4.5) este datorat capacității lor de a modifica raportul de transmitere între motor și roțile motrice, fără a întrerupe tracțiunea autovehiculului [16]. Performanțele cutiilor de viteză sunt diferite în funcție de sistemele cu care acestea sunt echipate. Sincronizarea treptelor de viteză a ajuns în prezent să fie realizată în decurs de milisecunde ceea ce a condus la un confort sporit pentru pasagerii autovehiculului dar și la creșterea performanțelor autovehiculului.

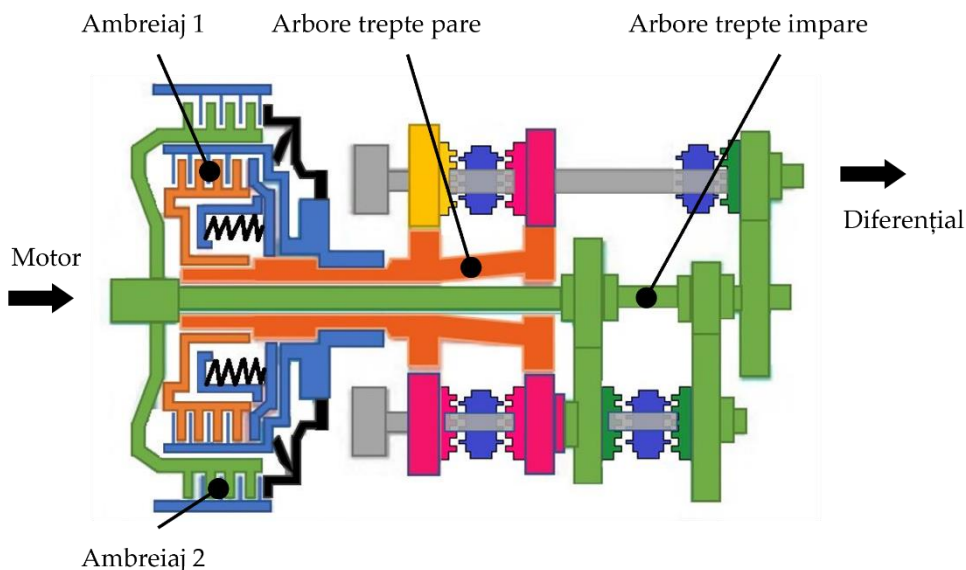


Fig. 4.5 Sistem dublu ambreiaj

În cazul transmisiilor DCT, ambreiajul nu este acționat de către conducătorul auto ci de actuatori care transmit semnalul în timp real, în funcție de momentul motor ce e necesar a fi transmis. Cutia de viteze cu dublu ambreiaj este o cutie de viteză semi-automată ce funcționează pe baza a două

ambreiaje separate și a doi arbori dispuși concentrici astfel un set de ambreiaj și un arbore sunt răspunzători de schimbarea treptelor pare (2,4,) iar celălalt set de schimbarea treptelor impare (1,3,5). Avantajul acestor cutii de viteze este preselecția automată a următoarei trepte de viteză fie că este vorba de o creștere sau de o scădere a vitezei. De exemplu dacă autovehiculul se află în treapta a doua de viteză, în cazul cutiilor DCT treapta a treia de viteză va fi preselecțată concomitent cu preselecția treptei întâi în funcție de necesitățile conducătorului auto, astfel reducându-se foarte mult timpul de schimbare a treptelor. Controlul electronic este realizat de TCU (transmission control unit) care monitorizează parametri precum viteza de deplasare a autovehiculului, turația motorului și poziția pedalei de accelerație. În funcție de cei 3 parametri se selectează treapta optimă de viteză [8-10].

Datorită avântului luat de autovehiculele electrice și industria de transmisii a fost nevoită să se adapteze. Majoritatea autovehiculelor electrice utilizează cutii de viteze cu o singură treaptă de viteze însă această paradigmă s-ar putea schimba în sensul utilizării unor cutii de viteze cu mai multe trepte, ceea ce ar duce la operarea motorului electric într-o zonă mult mai eficientă, crescând totodată accelerația și viteza maximă de deplasare. Vehiculele electrice performante (autocamioanele, autobuzele) vor putea beneficia de cutii de viteze cu mai multe trepte datorită cerințelor mărite de cuplu și de putere. Consumul de energie poate fi redus ușor de la câteva procente până la câteva zeci de procente atunci când se utilizează o configurație cu mai multe trepte de viteză asta în funcție de ciclul de conducere, tipul autovehiculului și configurația cutiei de viteze. În figura 4.6 sunt prezentate diferite tipuri de cutii de viteze manuale care pot fi conectate la un motor ținându-se cont de necesitatea adaptării performanțelor în funcție de cerințe (fig. 4.7). În cazul transmisiei fără ambreiaj, schimbarea treptelor de viteze este controlată de către unitatea de control (TCU). În momentul când cuplul motor este 0 sincronizatorul este decuplat. În momentul sesizării de către TCU a nevoi de cuplu motor are loc recuplarea sincronizatorului pentru ca schimbarea treptelor să se realizeze lin, fără zgomote sau șocuri în transmisie. Comenzile date de către TCU se efectuează pe baza unor

algoritmi predefiniți, schimbarea treptelor de viteze realizându-se astfel încât să se obțină un echilibru între performanță, eficiență și confort. Cutia de viteze folosită pe autovehiculele electrice poate fi și o cutie unde rapoartele de transmitere se realizează printr-un set de roți planetare (fig. 4.8) [11].

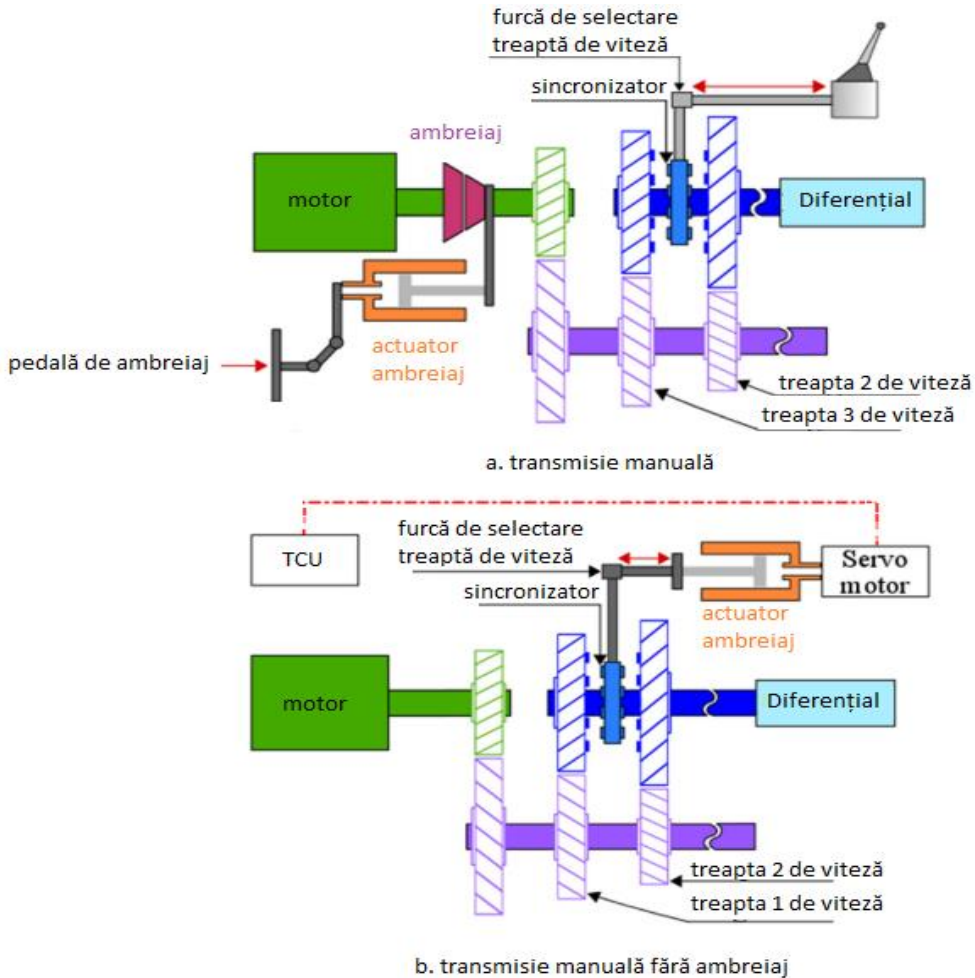


Fig. 4.6 Modele de cutii de viteze manuale [11]





Fig. 4.7 Comparație între performanțele motorului electric și a celui termic [15]

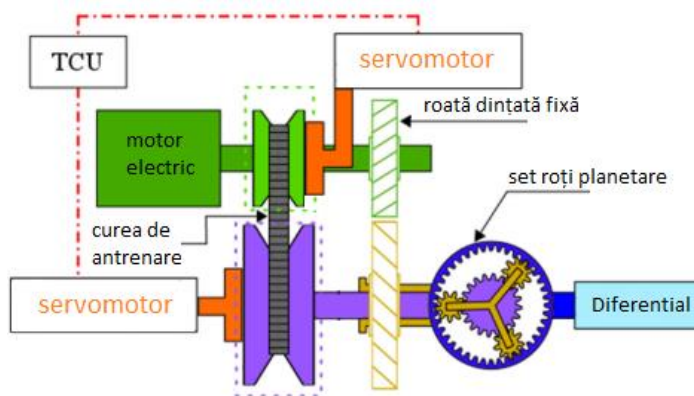


Fig. 4.8 Model de cutie de viteze cu roți planetare [11]

### 4.2.3. Diferențialul

Diferențialul este o componentă a sistemului de transmisie al unui autovehicul, ce permite deplasarea roților cu viteze unghiulare diferite. Această necesitate de deplasare cu viteze diferite ale roților apare mai ales în viraje, pe drum cu denivelări sau în condiții de aderență scăzute. Diferențialul preia puterea de la motor iar printr-un sistem de angrenaje (denumiți sateliți și port-sateliți) și o transmite mai departe către arborele planetar și implicit spre roțile motrice. O parte din constructorii de autovehicule electrice au renunțat la diferențialele mecanice clasice în favoarea celor electronice (fig. 4.10).

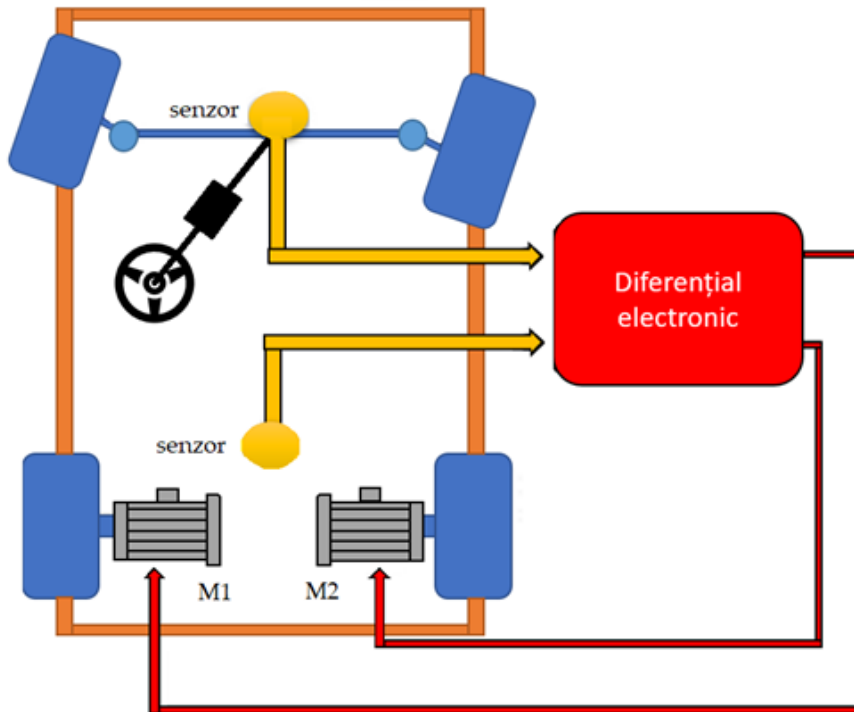


Fig. 4.9 Schema de funcționare diferențial electronic (adaptare după [12])

Funcționarea diferențialelor electronice se bazează pe datele obținute de către ECU din partea semnalelor oferite de senzorii de viteză ai roților,

redistribuirea puterii între roțile autovehiculului făcându-se în funcție de necesități. Sistemul funcționează prin transferarea forței de tracțiune către roata cu aderență mai mare cu scopul menținerii tracțiunii și stabilității în condiții dificile sau în viraje. Dezavantajul pe care aceste diferențiale electronice îl prezintă este faptul că uneori acești senzori pot să nu funcționeze corect iar acest fapt conduce la transferuri de putere greșite spre roți astfel realizându-se șocuri suplimentare în transmisie, uneori putând fi afectată și direcția de deplasarea a autovehiculului [12][13].

### **4.3. Concluzii**

Având în vedere nevoia de mobilitate actuală și viitoare, modernizarea continuă a tuturor ansamblelor și subansamblelor ce intră în construcția unui autovehicul se face într-un ritm alert. O provocare continuă o va constitui și implementarea de autovehicule autonome și asta fiindcă factorul tehnologic va trebui să se pună în acord cu factorul juridic astfel încât aceste autovehicule complet autonome să poată circula pe drumurile publice.

## 4.4. Bibliografie

- [1] Fayziyev, P.R., Ikromov, I.A., Abduraximov, A.A., and Dehqonov, Q.M., "Timeline: History of the Electric Car, Trends and the Future Developments," Eurasian Research Bulletin 6, 2022.
- [2] Helmers, E. and Marx, P., Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts, Environ Sci Eur 24(4), 2012, doi:10.1186/2190-4715-24-14.
- [3] \*\*\* International Energy Agency - IEA, "Trends in electric light-duty vehicles – Global EV Outlook 2022 – Analysis," Apr. 2023.
- [4] Sollazzo, C., "Gears Magazine - Automatic Trends in Europe: Automatic Transmissions on the Rise," <https://gearsmagazine.com/magazine/automatic-trends-in-europe-automatic-transmissions-on-the-rise/>, Apr. 2023.
- [5] Rus, I., "Autovehicule rutiere," Sincron, ISBN 973-9234-49-6, 2002.
- [6] Gatta, A. Della, Iannelli, L., Pisaturo, M., Senatore, A., and Vasca, F., A survey on modeling and engagement control for automotive dry clutch, Mechatronics 55, 2018, doi:10.1016/j.mechatronics.2018.08.002.
- [7] Dolcini, P.J., Canudas de Wit, C., and Béchart, H., "Dry Clutch Control for Automotive Applications," 2010.
- [8] Galvagno, E., Velardocchia, M., and Vigliani, A., "Dynamic and kinematic model of a dual clutch transmission," Mech Mach Theory 46(6), 2011, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2011.01.013.
- [9] Walker, P.D., Zhang, N., and Tamba, R., "Control of gear shifts in dual clutch transmission powertrains," Mech Syst Signal Process 25(6), 2011, doi:10.1016/j.ymssp.2010.08.018.
- [10] Kulkarni, M., Shim, T., and Zhang, Y., "Shift dynamics and control of dual-clutch transmissions," Mech Mach Theory 42(2), 2007, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2006.03.002.

- 
- [11] MacHado, F., Kollmeyer, P., Barroso, D., and Emadi, A., "Multi-Speed Gearboxes for Battery Electric Vehicles: Current Status and Future Trends," IEEE Open Journal of Vehicular Technology 2, 2021, doi:10.1109/OJVT.2021.3124411.
  - [12] Aggarwal, A., "Electronic differential in electric vehicles," Int J Sci Eng Res 4(11), 2013.
  - [13] Schael, M., Spichartz, P., Rehlander, M., and Sourkounis, C., "Electric differential for electric vehicles using doubly-fed induction motors," IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), 2013, doi:10.1109/IECON.2013.6699880.
  - [14] \*\*\* Ken Research, "Global Automotive Transmission Market Research Report," 2021.
  - [15] Stan, C., "Alternative Propulsion for Automobiles," ISBN 978-3-319-31930-8, 2017.
  - [16] Maloney, P. and Nursilo, W., "Optimizing Performance and Fuel Economy of a Dual-Clutch Transmission Powertrain with Model-Based Design - MATLAB & Simulink," <https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/optimizing-performance-and-fuel-economy-of-a-dual-clutch-transmission-powertrain-with-model-based-design.html>, Apr. 2023.

## 5. TENDINȚE DE DEZVOLTARE A SURSELOR ENERGETICE UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIA VEHICULELOR ELECTRICE

Datorită competiției tehnologice dintre marile companii producătoare de autovehicule și tendințele actuale de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră se impune utilizarea de noi surse de energie. O mare varietate de autovehicule electrice sunt dezvoltate și optimizate continuu având ca scop reducerea costurilor de exploatare și a poluării mediului înconjurător.

Din punct de vedere constructiv un vehicul electric poate fi propulsat de unul sau mai multe motoare electrice, fapt care simplifică considerabil structura mecanică a acestuia comparativ cu a unui vehicul propulsat convențional. În cazul vehiculelor pur electrice, motorul acestora este alimentat cu energie electrică din baterii care pot fi reîncărcate cu ajutorul încărcătoarelor dedicate, iar cele cu propulsie hibridă dispun de un motor termic și unul electric.

În funcție de tipul lor, vehiculele se clasifică după:

- a. vehicule cu motor cu ardere internă
  - cu motor cu ardere internă;
  - vehicule electrice cu hibridizare minimă.
- b. vehicule hibride
  - vehicule electrice cu hibridizare medie
  - vehicule electrice cu hibridizare ridicată
    - cu modul de autonomie extinsă (EREV – Extended Range Electric Vehicles);
    - hibrid serie (SHEV – Series Hybrid Electric Vehicles);
    - hibrid paralel (HEV – Parallel Hybrids Vehicles);

- hibrid cu încărcare externă (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicles);
- hibrid complex (CHEV – Complex Hybrid Electric Vehicles).

c. vehicule electrice

- vehicule electrice cu baterii;
- vehicule cu celulă de combustibil.

În zilele noastre impedimentul electrificării autovehiculelor este evidențiat de limitarea distanței parcursă de vehicul în exploatare, comparativ cu un vehicul echipat cu motor alimentat cu combustibil convențional și de infrastructura limitată a stațiilor de încărcare a bateriilor. Îmbunătățirea performanțelor sistemelor de alimentare electrice depinde de chimia utilizată la construcția celulelor și de managementul termic aplicat, care face posibilă menținerea temperaturii optime în funcționare pe durata exploatării. Un alt aspect important îl constituie siguranța pasagerilor în exploatare a vehiculelor echipate cu propulsie electrică, acestea fiind foarte inflamabile în cazul accidentelor de circulație cu impact direct în elementele de baterie. Astfel un domeniu important de cercetare este conturat de proiectarea optimă a elementelor structurale ale carcaselor de baterii care echipează vehiculele electrice. În subcapitolele ce urmează sunt prezentate amănunțit tipurile de celule utilizate la realizarea modulelor de surse de energie ce echipează vehiculele electrice și solicitările structurale care apar la baterii în momentul impactului cu diferite forme constructive de impactor.

### **5.1. Tipuri de celule electrochimice utilizate în construcția vehiculelor electrice**

Bateriile sunt o altă denumire a surselor de energie utilizate în construcția vehiculelor electrice care furnizează energia electrică necesară motorului electric de tracțiune. Primele modele de vehicule electrice au fost construite cu baterii plumb-acid [1], înlocuite în 1899 cu baterii cu nichel-cadmiu, care

aveau avantajul de a avea o capacitate mai mare de stocare a energiei electrice dar dezavantajul pierderii tensiunii în timp [2], cercetările în domeniu au continuat până când au fost dezvoltate primele baterii de înaltă performanță litiu-ion (Li-ion) (1985). Tehnologia litiu-ion a fost adoptată ca opțiune de stocare a energiei electrice în vehiculele electrice, ca urmare a calităților sale principale: fiabilitate ridicată și o capacitate de stocare a energiei electrice relativ ridicate. Trei tipuri de forme geometrice (fig. 5.1) sunt utilizate la construirea modulelor sau a surselor energetice utilizate la vehicule electrice, permițând o mai mare versatilitate în utilizarea din domeniul auto (și nu numai).

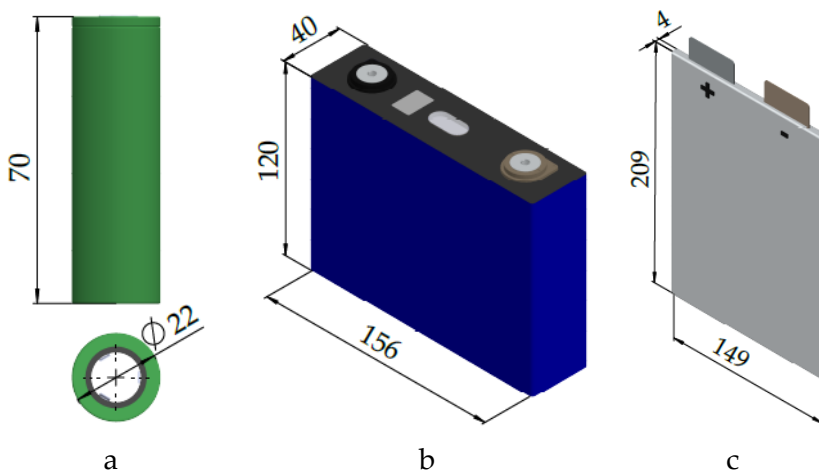


Fig. 5.1 Tipuri de celule litiu-ion

*a- cilindrică (21700); b – prismatică; c - pungă*

Construcția multistrat a unei celule electrochimice cu ioni de litiu este formată prin suprapunerea anodului și a catodului separați de două straturi izolatoare. Anodul este realizat din folie de cupru acoperită cu grafit, iar catodul este din folie de aluminiu acoperită pe ambele suprafețe cu o substanță activă. Părțile constitutive ale celulei sunt imersate în electrolit și plasate într-un recipient din oțel sau plastic pentru protecție. Materialele și componența chimică utilizate pot varia marginal între diferiți producători, dar structura unei celule este întotdeauna aceeași cu cea prezentată în figura 5.2.



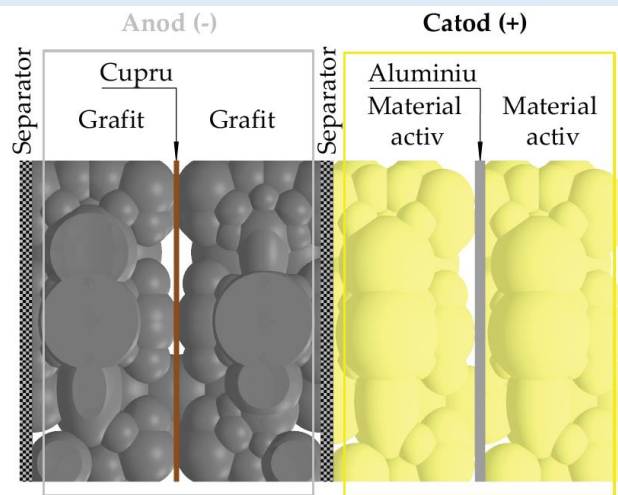


Fig. 5.2 Secțiune multistrat la o baterie litiu-ion

În prezent există diferite tipuri de baterii litiu-ion, printre cele mai utilizate la propulsia vehiculelor electrice fiind [2]:

- ▶ Lithium Cobalt Oxide -  $\text{LiCoO}_2$  (LCO)
- ▶ Lithium Nickel Oxide -  $\text{LiNiO}_2$
- ▶ Lithium Manganese Oxide -  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (LMO)
- ▶ Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide -  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (NMC)
- ▶ Lithium Iron Phosphate -  $\text{LiFePO}_4$  (LFP)
- ▶ Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide -  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (NMC)
- ▶ Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide -  $\text{LiNiCoAlO}_2$  (NCA)

La acest moment, cel mai recunoscut și utilizat tip de celulă este cea cilindrică de tipul 18650 și 21700 (fig. 5.3) cu chimia NCA (Nichel-Cobalt-Aluminium) fabricat de Panasonic. Acesta a fost adoptat și utilizat de către Tesla pentru echiparea modelelor de Tesla Model S 75D, Tesla Model S 90D, Tesla Model S 100D și Tesla Model S P100D cu o capacitate cuprinsă între 75 și 102 kWh, respectiv cu autonomie cuprinsă între 405 și 505 km [3, 4]. De asemenea, Panasonic și CATL au fabricat și baterii cu chimia LCO (Lithium Cobalt Battery) pentru echiparea Tesla Roadster având o capacitate de stocare de 200 kWh și o autonomie de 1000 de km [5], respectiv și Smart ForTwo Electric cu o capacitate a bateriei de 18 kWh cu o autonomie de 120 km.

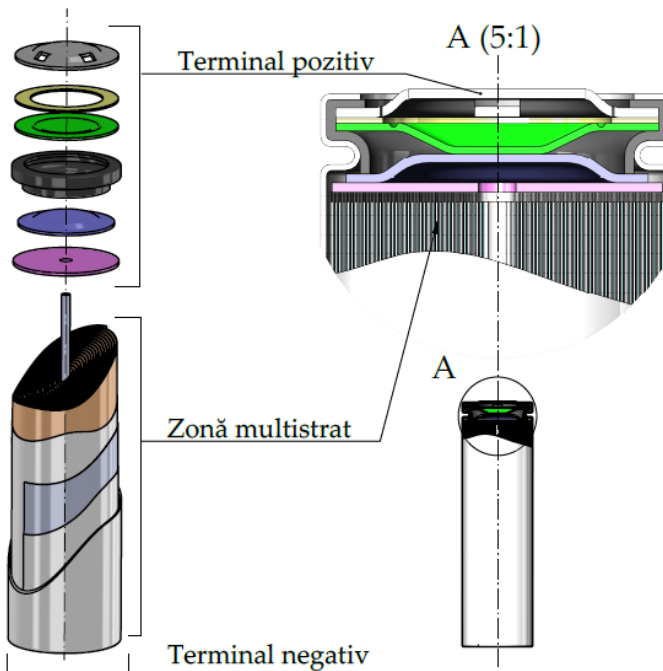


Fig. 5.3 Părțile componente a celulei cilindrice de tipul 18650 litiu-ion

Integrarea bateriilor LFP (Lithium Phosphate Cell) s-a realizat pe modele de BYD E6 și Mitsubishi iMiEV cu o capacitate de stocare de 82 kWh și 16 kWh, respectiv cu o autonomie de 390 km și 95 km [4]. Sursa energetică cu chimia NMC (Nickel Manganese Cobalt) fabricată de către CATL, Hitachi, Lg CHEM, Samsung SDI, Panasonic și SK Innovation s-a montat pe o serie de vehicule electrificate, și anume pe Chevrolet Bolt EV, Chevrolet Volt, Ford Focus Electric, BYD E6, Roewe Ei5, Renault Zoe ZE50 R135, Nissan Leaf, NIO ES6, BMW i3, Hyundai Kona Electric, Audi e-tron 55 Sportback și Volkswagen e-Golf. Celulele de tipul NMC pot fi împărțite în 3 categorii după forma lor geometrică, cilindrice (18650, 21700), prismatice și de tip pungă. Capacitatea de stocare variază între 16 și 95 kWh, ceea ce asigură o autonomie cuprinsă între 95 și 446 de km [4, 6, 7].

Tipul bateriei și domeniul de aplicare decid restricțiile tehnologice privind utilizarea diferitelor materiale în proiectarea electrozilor pozitivi, negativi, electrolitul și separatorii unei celule Li-ion.

Trebuie menționat faptul că eficiența unei baterii este influențată de: compatibilitatea materialelor din care sunt confecționați electrodul pozitiv și negativ. Electroliul trebuie să permită un flux mare de transport de atomi de litiu de la anod către catod sau invers, astfel încât să se transfere ionii de litiu cât mai eficient posibil în aceleași condiții de funcționare. De asemenea, separatorul fiind un izolator electric care este între electrozii pozitivi și negativi are rol de separator de materiale active. În exploatarea acestor surse de energie se evită distrugerea celulelor prin supraîncărcare sau supraîncălzire, asigurând izolația termică necesară. Bateriile Li-Ion trebuie să funcționeze și să fie compatibile într-un interval larg de temperatură, cuprins între  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  până la  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Bateriile cu litiu-ion de înaltă eficiență coulombică (EC) permit un ciclu de încărcare/descărcare incredibil de rapid. Această proprietate reflectă sarcina electrică totală adăugată bateriei pe parcursul unui ciclu complet și definește eficiența de încărcare cu energie a celulei. Se consideră că îmbunătățirea performanței energetice a surselor de energie Li-ion ține direct de existența unui număr relativ mare de cicluri de funcționare (încărcare/descărcare). Principalii producători au încercat celule de tip 18650 pentru a demonstra acest lucru și s-a constatat că, deoarece celulele cu ioni de litiu erau stabile din punct de vedere funcțional, consistența nivelurilor de eficiență energetică atinse prin experimente a fost ridicată (ce a permis aplicarea lor în construcția vehiculelor electrice).

## **5.2. Solicitări structurale în bateriile pentru vehicule electrice**

Datorită chimiei sursele de energie cu litiu-ion pot fi considerate periculoase în timpul procesului de stocare și descărcare a energiei electrice deoarece, la acumularea de temperatură excesivă (datorită proceselor specifice de încărcare/descărcare) și în lipsa de disipare a acestei temperaturi într-o manieră determinată în timp, apare suprasarcina termică. Acest lucru poate duce la aprinderea materialului, ceea ce are implicații grave pentru siguranța

utilizatorilor de vehicule electrice. Prin urmare, producătorii trebuie să acorde o atenție semnificativă și continuă sporirii siguranței surselor de energie utilizate în vehiculele electrice [8, 9].

Pentru a aborda problemele care ar putea duce la o varietate de incidente de siguranță, care sunt o prioritate urgentă chiar și în faza de proiectare, există în prezent o mulțime de cercetări axate pe integrarea în siguranță a surselor de energie în vehiculele electrice [8–15]. Din perspectiva fenomenelor fizice, există numeroase cerințe care ar putea apărea în exploatarea surselor de energie din dezvoltarea vehiculelor electrice.

Următoarea clasificare s-a stabilit de către cercetători, privind solicitările structurale exterioare asupra surselor energetice utilizate la vehiculele electrice [16, 17]:

- ▶ Solicitări electrice
  - supraîncărcare;
  - supradescărcare;
  - rata-C ridicată;
  - descărcare forțată.
- ▶ Solicitări termice
  - încălzire;
  - supraîncălzire.
- ▶ Solicitări mecanice:
  - străpungere/deformare;
  - cădere liberă;
  - șoc mecanic;
  - vibrații;
  - imersiune.

În timpul funcționării sau utilizării unui vehicul electric, bateria poate suferi deformări ca urmare a unui impact extern (în urma unei coliziuni), care în

cele din urmă duc la deteriorarea mecanică a carcasei și a componentelor sistemului de baterie. Mai multe grupuri și comitete internaționale au publicat standarde și specificații de testare pentru sursele de energie, într-un efort de a crește performanța și siguranța surselor de energie cu litiu-ion. Aceste teste evaluează intervalele de funcționare sigure ale surselor de energie, printre care testele de suprasarcină, deformare mecanică și străpungere, precum și analize ale comportamentului lor la scurtcircuit și la temperatură înaltă [17, 18]. Pe baza acestor factori au fost efectuate numeroase studii strâns legate de aceste probleme de siguranță operațională.

Folosind un model numeric pentru a evalua gradul de integritate al fiecărei componente a celulei electrice după solicitări mecanice, Ahn Y.J et al. [19] a efectuat recent un studiu privind problemele de siguranță în bateriile litiu-ion în cazurile de impact mecanic. Comparația rezultatelor experimentului arată că modelul numeric cu elemente finite, care încorporează o structura multistratificată, are un grad decent de precizie în prezicerea modului de defecțiune la nivelul celulei.

Folosind ABAQUS, Xu et al. [14] au creat și examinat un model cu elemente finite. Capacul superior, carcasa, manșonul de plastic și miezul celulei au alcătuit modelul reprezentativ, iar comportamentul mecanic al miezului celulei a fost configurat folosind modelul matematic Johnson-Cook. Modelul a fost validat folosind teste experimentale de deformare folosind diferite tehnici de compresie și îndoire în trei puncte pe 18650 de celule (pe baza lucrărilor anterioare sugerate de alți cercetători [20] (fig. 5.4). Rezultatele simulării pentru o viteză de impact cuprinsă între 0,1 și 30 m/s au arătat că, pe măsură ce viteza de impact crește, defectele apar într-o locație geometrică diferită. Caracteristicile geometrice unice ale celulei 18650 au un impact direct asupra comportării mecanice a tensiunii de încovoiere, dar o influență mică asupra tensiunii de compresiune de-a lungul axei longitudinale.

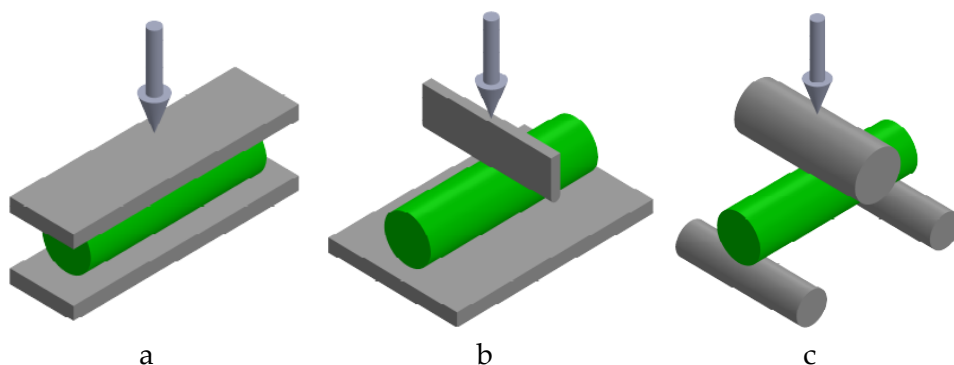


Fig. 5.4 Deformări coasi-statice efectuate pe celula de tipul 18650: a – comprimare; b – deformare simplă; c – încovoiere în trei puncte (adaptat după [20])

Cercetătorii au cercetat și modul în care materialele utilizate pentru construcția surselor de energie (bateriilor) se comportă sub acțiunea solicitărilor mecanice structurale [8, 21, 22, 23], cu accent pe proprietățile mecanice de tracțiune ale electrozilor și ale separatorului (pentru a afla cum reacționează celulele la aceste solicitări în diferite condiții de încărcare energetică). Aceste studii au arătat că procesul de deformare mecanică structurală al unei celule are patru faze majore. Deformarea mecanică are loc în prima fază, urmată de scurtcircuit în a doua fază. După începerea scurtcircuitului, temperatura celulei crește, ceea ce provoacă suprasarcină termică (faza a treia), iar faza finală este atunci când celula se auto-aprinde. În studiul lor [24], Zhang și Wierzbicki s-au concentrat pe caracterizarea plasticității și fisurilor care rezultă din deformările mecanice ale bateriilor cilindrice litiu-ion și alte studii s-au concentrat pe efectuarea a diferite teste mecanice pe celule, module sau componente ale bateriilor, pentru diferite încărcări energetice (pentru diferite valori ale SOC).

O tijă rigidă și poansonuri semisferice, cilindrice și conice au fost utilizate în experimentele de indentare și deformare [23, 25, 26], precum și solicitări axiale și biaxiale și îndoire în trei puncte [27, 28]. De remarcat că, în timp ce fenomenul de solicitare are loc într-o fracțiune de secundă în timpul unui accident rutier, ciclurile de încărcare și descărcare mecanică sau

încărcările/solicitările termice efectuate prin experimente au loc în decurs de minute sau ore în cazurile studiate și prezentate anterior.

Tehnologia Li-ion, așa cum s-a discutat anterior, oferă capacitatea energetică necesară pentru crearea vehiculelor electrice cu performanțe comparabile cu vehiculele dotate cu motoare cu ardere internă, dar utilizarea lor în exploatare poate duce la accidente rutiere specifice. Astfel, trebuie subliniat că pe măsură ce aceste tipuri de vehicule sunt folosite mai frecvent, vor avea loc, fără îndoială, accidente care compromit integritatea structurală a bateriilor, necesitând utilizarea unei anumite proceduri de reciclare. În acest context, Uniunea Europeană întreprinde măsuri pentru a stabili obiectivele și tendințele viitoare cu privire la cerința de implementare a măsurilor de reciclare a bateriilor care nu mai sunt folosite la fabricarea vehiculelor, în alte sisteme de stocare a energiei sau în alte procese industriale.

În documentul „Green Deal: Baterii durabile pentru o economie circulară și neutră din punct de vedere climatic” publicat de Comisia Europeană în 2020, se precizează că bateriile vândute în UE (inclusiv cele utilizate pentru construirea de vehicule electrice) trebuie să fie fiabile, eficiente și sigure pe parcursul întregului ciclu de viață [29]. Bateriile trebuie să fie produse cu cel mai mic impact posibil asupra mediului, folosind materii prime care au fost achiziționate cu respectarea strictă a normelor sociale și ecologice și a drepturilor omului. Bateriile trebuie să fie durabile și sigure, iar atunci când și-au îndeplinit scopul sau au ajuns la sfârșitul existenței lor utile, trebuie să fie reciclate, reconstruite sau utilizate din nou, reintroducând toate sau o parte din ele în economie. *„Va fi facilitată reutilizarea bateriilor de la vehiculele electrice, astfel încât acestea să poată avea o a doua viață, de exemplu ca sisteme staționare de stocare a energiei, sau integrarea lor în rețelele electrice ca resurse energetice”*, este precizarea expresă din document.

Un subiect de interes major pentru industria auto (atât la nivel european, cât și internațional) este identificarea soluțiilor de creștere a gradului de includere a bateriilor care echipează vehiculele electrice în economia circulară [30] și optimizarea construcției modulare a bateriei la solicitările

mecanice structurale, pentru a proteja celulele electrochimice de impact/accident rutier,.

### 5.3. Direcții de cercetare

Performanța generală a unei baterii Li-Ion este definită în mare parte de componentele sale principale, care includ anodul, catodul, electrolitul separatorul și colectorul de curent. În general, materialele utilizate pentru anod la bateriile Li-Ion sunt carbonul, aliajele, oxizii de metale de tranziție, siliciul și siliconul, cercetătorii prezentând noi progrese tehnologice [31, 32].

Kim et al. [33] au analizat în detaliu materialele de tranziție stratificate pentru catod, denumite și material de generație nouă. În urma cercetării concluzia arată că materialul NCMA are cea mai mare rată de descărcare specifică și oferă un echilibru unic de stabilitate termică și densitate energetică [34] pentru utilizarea bateriilor ca și surse de energie la vehiculele electrice.

Cele două categorii de electroliți sunt lichizi și solizi. Înlocuirea electroliților lichizi cu conductori în stare solidă este una dintre provocările cheie pentru creșterea siguranței și a densității energetice a bateriilor Li de generație nouă. Electroliții în stare solidă includ și electroliți polimerici solizi (SPE) [35], electroliți anorganici (ISE), electroliți compoziți polimer/ceramic și alți electroliți pe bază de oxizi de metal [36, 37].

Separatoarele au un rol esențial în cadrul bateriilor Li-ion care de asemenea necesită o atenție sporită. Deoarece cererea de baterii va crește semnificativ odată cu dezvoltarea lor, mai multe studii [38, 39, 40] s-au concentrat în evidențierea și dezvoltarea unor aspecte importante, cum ar fi stabilitatea chimică, grosimea și rezistența separatorului, porozitatea și dimensiunea porilor, stabilitatea termică și capacitatea de barieră termică, respectiv proprietatea/capacitatea de comportare la umezeală.



## 5.4. Concluzii

Această industrie a surselor energetice ce echipează vehiculele electrice și nu numai, prezintă un domeniu cuprinzător al științei materialelor, chimiei, fizicii, termodinamicii și a ingineriei mecanice. Abordarea multidisciplinară este cheia pentru o dezvoltare progresivă și o îmbunătățire a performanței energetice pentru aceste surse de energie.

Cercetările actuale în domeniu prezintă rezultate considerabile, fiind de o importanță din ce în ce mai mare, având în vedere tendințele de dezvoltare respectiv de electrificare a parcului auto la nivel global. Până în prezent, bateriile litiu-ion sunt cea mai populară sursă de energie, utilizată la construcția vehiculelor electrice. Avantajul major constând în faptul că celulele se pot configura la tensiunea dorită, începând de la 2.5 V și până la 800 V DC. De asemenea, în comparație cu alte tehnologii, acestea au o durată de viață mai mare, rata de autodescărcare scăzută și densitate de energie ridicată. În ceea ce privește economia circulară și utilizarea bateriilor în diferite sisteme de stocare a energiei verde, acestea permit o configurare de tensiune electrică (24 V / 48 V / 120 V ) compatibilă cu majoritatea invertoarelor prezente în piață. Nu în ultimul rând, optimizarea (topologică și topografică) construcției modulare a bateriei la solicitările mecanice structurale, pentru a proteja celulele individuale în caz de accident rutier și este de interes major pentru industria auto la nivel global.

## 5.5. Bibliografie

- [1] Morimoto, M., "Which is the first electric vehicle?," *Electrical Engineering in Japan* (English Translation of *Denki Gakkai Ronbunshi*) 192(2), 2015, doi:10.1002/eej.22550.
- [2] Miao, Y., Hynan, P., Jouanne, A. Von, and Yokochi, A., Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements, *Energies* (Basel) 12(6), 2019, doi:10.3390/en12061074.
- [3] Zhao, G., Wang, X., and Negnevitsky, M., "Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management," *IScience* 25(2):103744, 2022, doi:https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103744.
- [4] Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., and Pasaoglu, G., The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89, 2018, doi:10.1016/j.rser.2018.03.002.
- [5] Hussein, N. and Massoud, A., "Electric Vehicle Fast Chargers: Futuristic Vision, Market Trends and Requirements," 2nd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy, SGRE 2019 - Proceedings, 2019, doi:10.1109/SGRE46976.2019.9020974.
- [6] Deng, Z. and Tian, P., "Are China's subsidies for electric vehicles effective?," *Managerial and Decision Economics* 41(4), 2020, doi:10.1002/mde.3114.
- [7] Burkert, A., Fechtner, H., and Schmuelling, B., "Interdisciplinary analysis of social acceptance regarding electric vehicles with a focus on charging infrastructure and driving range in Germany," *World Electric Vehicle Journal* 12(1), 2021, doi:10.3390/wevj12010025.
- [8] Lai, W.J., Ali, M.Y., and Pan, J., "Mechanical behavior of representative volume elements of lithium-ion battery modules under various loading conditions," *J Power Sources* 248, 2014, doi:10.1016/j.jpowsour.2013.09.128.
- [9] Abada, S., Marlair, G., Lecocq, A., Petit, M., Sauvart-Moynot, V., and Huet, F., Safety focused modeling of lithium-ion batteries: A review, *J Power Sources* 306, 2016, doi:10.1016/j.jpowsour.2015.11.100.

- [10] Martinez, M., "Battery warmup can speed Tesla charging | Automotive News," <https://www.autonews.com/technology/battery-warmup-can-speed-tesla-charging>, Apr. 2023.
- [11] Pesaran, A., Vlahinos, A., and Burch, S.D., Thermal Performance of EV and HEV Battery Modules and Packs, Fourteenth International Electric Vehicle Symposium (September), 1997.
- [12] Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M.N., and Hossain, E., A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development, *Energies* (Basel) 10(8), 2017, doi:10.3390/en10081217.
- [13] Bayrak, A., "Topology Considerations in Hybrid Electric Vehicle Powertrain Architecture Design,," 2015.
- [14] Xu, J., Liu, B., Wang, L., and Shang, S., "Dynamic mechanical integrity of cylindrical lithium-ion battery cell upon crushing," *Eng Fail Anal* 53, 2015, doi:10.1016/j.engfailanal.2015.03.025.
- [15] Rinderknecht, S. and Meier, T., "Electric power train configurations and their transmission systems," *SPEEDAM 2010 - International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2010, doi:10.1109/SPEEDAM.2010.5542276.
- [16] Evarts, E.C., "Lithium batteries: To the limits of lithium," *Nature* 526(7575), 2015, doi:10.1038/526S93a.
- [17] Chombo, P.V. and Laoonual, Y., A review of safety strategies of a Li-ion battery, *J Power Sources* 478, 2020, doi:10.1016/j.jpowsour.2020.228649.
- [18] Ruiz, V., Pfrang, A., Kriston, A., Omar, N., Bossche, P. Van den, and Boon-Brett, L., A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, 2018, doi:10.1016/j.rser.2017.05.195.
- [19] Ahn, Y.J., Lee, Y.S., and Cho, J.R., "Multi-Layered Numerical Model Development of a Standard Cylindrical Lithium-Ion Battery for the Impact Test," *Energies* (Basel) 15(7), 2022, doi:10.3390/en15072509.

- 
- [20] Greve, L. and Fehrenbach, C., "Mechanical testing and macro-mechanical finite element simulation of the deformation, fracture, and short circuit initiation of cylindrical Lithium ion battery cells," J Power Sources 214, 2012, doi:10.1016/j.jpowsour.2012.04.055.
  - [21] Liu, B., Jia, Y., Yuan, C., Wang, L., Gao, X., Yin, S., and Xu, J., Safety issues and mechanisms of lithium-ion battery cell upon mechanical abusive loading: A review, Energy Storage Mater 24, 2020, doi:10.1016/j.ensm.2019.06.036.
  - [22] Scurtu, L., Szabo, I., Mariasiu, F., Moldovanu, D., Mihali, L., and Jurco, A., "Numerical analysis of the influence of mechanical stress on the battery pack's housing of an electric vehicle," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, doi:10.1088/1757-899X/568/1/012054.
  - [23] Szabo, I., Sirca, A.A., Scurtu, L., Kocsis, L., Hanches, I.N., and Mariașiu, F., "Comparative study of Li-ion 18650 cylindrical cell under pinch indentation," IOP Conf Ser Mater Sci Eng 1256(1):012022, 2022, doi:10.1088/1757-899X/1256/1/012022.
  - [24] Zhang, X. and Wierzbicki, T., "Characterization of plasticity and fracture of shell casing of lithium-ion cylindrical battery," J Power Sources 280:47–56, 2015, doi:10.1016/J.JPOWSOUR.2015.01.077.
  - [25] Zhu, J., Wierzbicki, T., and Li, W., A review of safety-focused mechanical modeling of commercial lithium-ion batteries, J Power Sources 378, 2018, doi:10.1016/j.jpowsour.2017.12.034.
  - [26] Muresanu, A.D. and Dudescu, M.C., "Numerical and Experimental Evaluation of a Battery Cell under Impact Load," Batteries 8(5), 2022, doi:10.3390/batteries8050048.
  - [27] Wenwei, W., Yiding, L., Cheng, L., Yuefeng, S., and Sheng, Y., "State of charge-dependent failure prediction model for cylindrical lithium-ion batteries under mechanical abuse," Appl Energy 251, 2019, doi:10.1016/j.apenergy.2019.113365.

- [28] Aiello, L., Gstrein, G., Erker, S., Kaltenegger, B., Ellersdorfer, C., and Sinz, W., "Optimized Nail for Penetration Test on Lithium-Ion Cells and Its Utilization for the Validation of a Multilayer Electro-Thermal Model," *Batteries* 8(4), 2022, doi:10.3390/batteries8040032.
- [29] European Commission, "Green Deal: Sustainable batteries for a circular and climate neutral economy," European Commission (December), 2020.
- [30] Kehl, D., Jennert, T., Lienesch, F., and Kurrat, M., "Electrical characterization of li-ion battery modules for second-life applications," *Batteries* 7(2), 2021, doi:10.3390/batteries7020032.
- [31] Mahmud, S., Rahman, M., Kamruzzaman, M., Ali, M.O., Emon, M.S.A., Khatun, H., and Ali, M.R., "Recent advances in lithium-ion battery materials for improved electrochemical performance: A review," *Results in Engineering* 15, 2022, doi:10.1016/j.rineng.2022.100472.
- [32] Nzereogu, P.U., Omah, A.D., Ezema, F.I., Iwuoha, E.I., and Nwanya, A.C., Anode materials for lithium-ion batteries: A review, *Applied Surface Science Advances* 9, 2022, doi:10.1016/j.apsadv.2022.100233.
- [33] Kim, U.H., Kuo, L.Y., Kaghazchi, P., Yoon, C.S., and Sun, Y.K., "Quaternary Layered Ni-Rich NCMA Cathode for Lithium-Ion Batteries," *ACS Energy Lett* 4(2), 2019, doi:10.1021/acsenergylett.8b02499.
- [34] Jeyakumar, J., Seenivasan, M., Wu, Y.S., Wu, S.H., Chang, J.K., Jose, R., and Yang, C.C., "Preparation of long-term cycling stable ni-rich concentration–gradient NCMA cathode materials for li-ion batteries," *J Colloid Interface Sci* 639:145–159, 2023, doi:10.1016/J.JCIS.2023.02.064.
- [35] Song, S., Gao, W., Yang, G., Zhai, Y., Yao, J., Lin, L., Tang, W., Hu, N., and Lu, L., "Hybrid poly-ether/carbonate ester electrolyte engineering enables high oxidative stability for quasi-solid-state lithium metal batteries," *Mater Today Energy* 23, 2022, doi:10.1016/j.mtener.2021.100893.

- [36] Liu, Z., Zheng, F., Xiong, W., Li, X., Yuan, A., and Pang, H., "Strategies to improve electrochemical performances of pristine metal-organic frameworks-based electrodes for lithium/sodium-ion batteries," *SmartMat* 2(4), 2021, doi:10.1002/smm2.1064.
- [37] Guo, Y., Wu, S., He, Y.-B., Kang, F., Chen, L., Li, H., and Yang, Q.-H., "Solid-state lithium batteries: Safety and prospects," *EScience* 2(2), 2022, doi:10.1016/j.esci.2022.02.008.
- [38] Liu, R., Yuan, B., Zhong, S., Liu, J., Dong, L., Ji, Y., Dong, Y., Yang, C., and He, W., "Poly(vinylidene fluoride) separators for next-generation lithium based batteries," *Nano Select* 2(12), 2021, doi:10.1002/nano.202100118.
- [39] Zhong, S., Yuan, B., Guang, Z., Chen, D., Li, Q., Dong, L., Ji, Y., Dong, Y., Han, J., and He, W., Recent progress in thin separators for upgraded lithium ion batteries, *Energy Storage Mater* 41, 2021, doi:10.1016/j.ensm.2021.07.028.
- [40] Yang, Y., Wang, W., Meng, G., and Zhang, J., Function-directed design of battery separators based on microporous polyolefin membranes, *J Mater Chem A Mater* 10(27), 2022, doi:10.1039/d2ta03511a.
- [41] Jeong, H., Jang, J., and Jo, C., A review on current collector coating methods for next-generation batteries, *Chemical Engineering Journal* 446, 2022, doi:10.1016/j.cej.2022.136860.
- [42] Wang, B., Xu, M., and Yang, L., "Study on the economic and environmental benefits of different EV powertrain topologies," *Energy Convers Manag* 86, 2014, doi:10.1016/j.enconman.2014.05.077.

## **6. TENDINȚE DE DEZVOLTARE ÎN DOMENIUL MANAGEMENTULUI TERMIC AL AUTOVEHICULELOR**

În contextul actual, pentru a reduce impactul asupra mediului ambiant și consumul de resurse, se impune necesitatea creșterii eficienței energetice și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. În acest scop, s-a fixat ca obiectiv reducerea emisiilor nete de CO<sub>2</sub> la zero până în anul 2050 [1], iar o contribuție importantă pentru atingerea acestui obiectiv îl are înlocuirea combustibililor fosili cu alte tipuri de combustibili care închid circuitul de CO<sub>2</sub> (combustibili regenerabili, e-combustibili), dar mai ales prin electrificarea sistemelor de propulsie ce echipează autovehiculele noi [2]. Suplimentar, pentru a obține efectul dorit, apare necesitatea intensificării studiilor și analizelor în domeniul sistemelor de comandă și control al autovehiculelor electrificate. Dintre aceste sisteme, o importanță tot mai mare în construcția noilor tipuri de autovehicule o are managementul termic prin rolul său în eficientizarea utilizării fluxurilor termice.

În trecut, cel mai important rol al sistemului de răcire ce echipa motoarele cu ardere internă era de a proteja componentele blocului motor împotriva supraîncălzirii. Odată cu înăsprirea normelor de poluare, care a atras după sine necesitatea reducerii consumului de combustibil, alături de creșterea cerințelor de confort al pasagerilor, au crescut semnificativ complexitatea și numărul de funcții ale sistemului de management termic. Acest sistem este responsabil de controlul eficient al tuturor fluxurilor de energie termică din sistemul de propulsie și habitacul, motiv pentru care are un impact considerabil asupra autonomiei, consumului de energie electrică (în cazul autovehiculelor electrice și hibride), respectiv asupra consumului de combustibil și emisiilor (în cazul propulsiei clasice).

Având în vedere importanța electrificării în domeniul autovehiculelor, în cele ce urmează se va trata problematica managementului termic al bateriilor pentru propulsie electrică, cu accent pe tehnologia litiu-ion.

## **6.1. Managementul termic al bateriilor de înaltă tensiune cu acumulatori litiu-ion**

### **6.1.1. Limitările termice ale acumulatorilor litiu-ion**

Pentru a facilita o tranziție rapidă la mobilitatea electrică prin creșterea gradului de acceptare al publicului larg, este critică utilizarea unor baterii de acumulatori al căror performanțe să nu fie afectate de condițiile atmosferice. Alte cerințe și așteptări sunt legate de timpul de încărcare, autonomia oferită, durata de viață și siguranța în funcționare. Cu toate că tehnologia acumulatorilor litiu-ion (Li-ion) a cunoscut numeroase progrese în ultimul timp și acești acumulatori sunt integrați în numeroase modele de autovehicule cu propulsie electrică, performanțele lor sunt în continuare afectate de temperatura de operare [3]. Numeroase studii au demonstrat că temperatura este factorul principal care influențează durata de viață a acumulatorilor, având un impact negativ atât asupra capacității, durabilității, cât și asupra rezistenței electrice interne [4,5]. Pentru a obține comportamentul dorit, temperatura acumulatorilor Li-ion trebuie să se situeze în intervalul 15...35 °C [3]. Suplimentar, s-a constatat că o distribuție neuniformă a temperaturilor în interiorul unei baterii de acumulatori poate rezulta într-un dezechilibru electric între celule, care accelerează îmbătrânirea termică și scăderea capacității, respectiv a puterii energetice oferită de aceasta [6].

Temperaturile scăzute reduc semnificativ puterea și capacitatea energetică a acumulatorilor, respectiv cresc impedanța internă [7]. Spre exemplu, determinările experimentale efectuate de diverși cercetători [8] au arătat că la -20 °C creșterea rezistenței interne cauzează o reducere a capacității cu 60%. În schimb, temperaturile ridicate cresc viteza de reacție chimică, ceea ce rezultă în livrarea unei puteri mai mari și într-o capacitate energetică îmbunătățită, dar în același timp se ajunge la o creștere suplimentară a temperaturii și astfel la o creștere a solicitărilor termice. În cazul în care viteza de cedare a căldurii este mai mică decât viteza de creștere a acesteia



datorită reacțiilor chimice, există riscul ca temperaturile să crească necontrolat până la dezintegrarea materialelor și componentelor [7]. La modul general, parametrii care influențează generarea căldurii în baterii sunt [9]:

- ▶ *sarcina (curentul de descărcare sau încărcare)*: contribuie la creșterea temperaturii în principal prin efectul Joule;
- ▶ *starea de încărcare*: corespunde energiei stocate în acumulator și este strâns legată de fenomenele electrochimice și difuzia ionilor de litiu;
- ▶ *temperatura*: la valori ridicate ale temperaturii în acumulator, reacțiile electrochimice sunt stimulate și rezistența internă scade;
- ▶ *electrochimia*: materialele folosite influențează semnificativ căldura generată.

Având în vedere tendințele actuale de reducere a timpilor de încărcare prin creșterea puterii de încărcare, respectiv de menținere a autonomiei la un nivel cât mai ridicat chiar și în condiții atmosferice nefavorabile, devine necesară implementarea unor soluții de management termic al bateriei cu eficiență sporită. Mai mult, în cazul sistemelor de management termic cu aer, deoarece în timpul procesului de încărcare nu există o circulație naturală suficientă a aerului prin schimbătorul de căldură, autovehiculul fiind staționar, capacitatea de răcire a circuitului trebuie să fie adaptată acestei situații.

### 6.1.2. *Sisteme de management termic a bateriilor*

Primele tehnologii de management termic a bateriilor presupuneau răcirea acestora cu aer. Odată cu evoluția sistemelor de propulsie electrică a crescut și capacitatea de răcire necesară, ceea ce putea fi obținut doar prin intermediul unor medii de răcire lichide. Sistemele de răcire cu lichid pot fi clasificate în funcție de tipul și numărul schimbătoarelor de căldură folosite, însă cele două categorii principale sunt sistemele de răcire pasivă, respectiv activă (fig. 6.1).

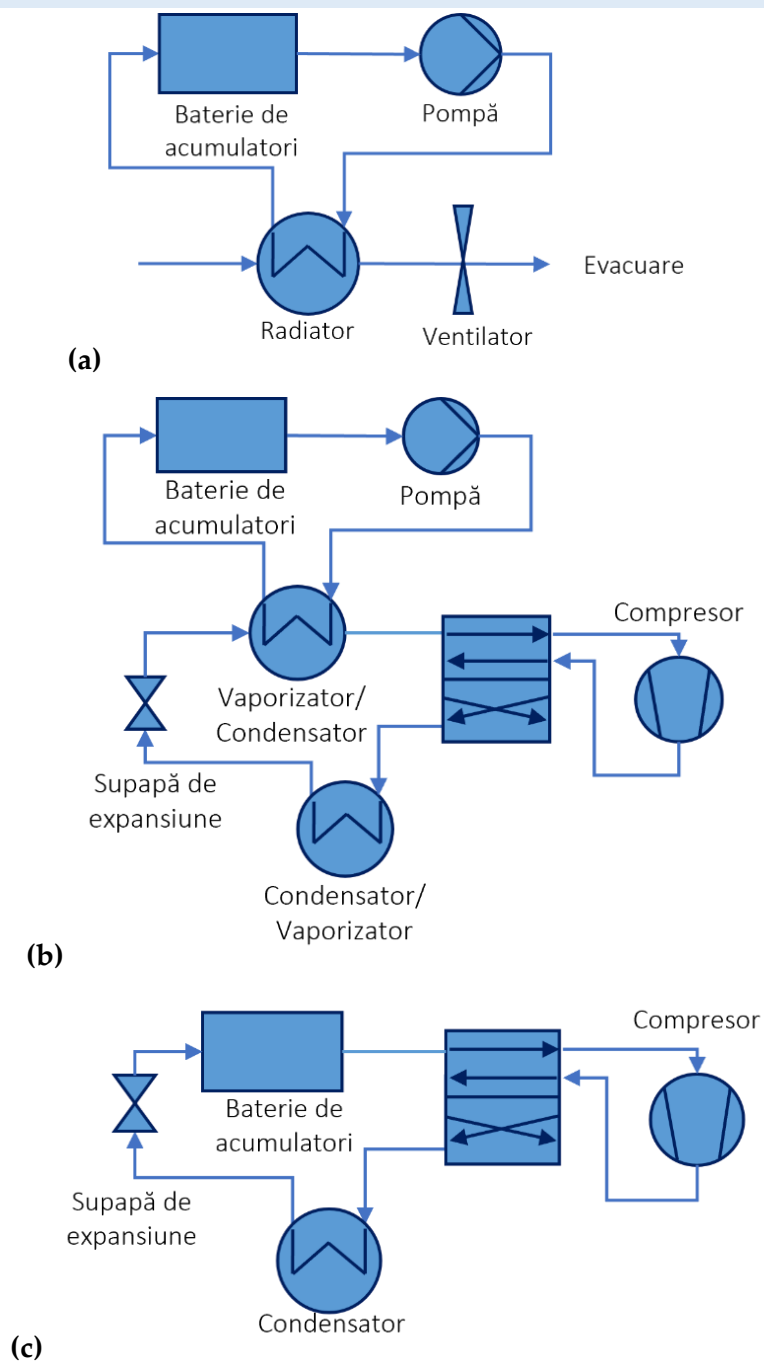


Fig. 6.1 Tipuri de sisteme de răcire a bateriei cu lichid

(a) Răcire pasivă cu lichid; (b) Răcire activă cu lichid; (c) Răcire activă cu refrigerant.

Într-un sistem cu răcire pasivă (fig. 6.1a), capacitatea de transfer termic a lichidului este dependentă de temperatura ambientală, astfel că în cazul în care diferența de temperatură dintre cele două fluide este redusă sistemul devine inefficient. Totodată, această construcție nu permite încălzirea excesivă a bateriei. În schimb, sistemul de răcire activă cu lichid este format din două circuite (fig. 6.1b). Circuitul primar este similar celui de la răcirea pasivă, însă circuitul secundar este unul de refrigerant. În cazul în care se dorește răcirea bateriei, schimbătorul de căldură care leagă cele două circuite funcționează ca vaporizator. Dacă însă este necesară încălzirea bateriei, supapa cu patru căi se poate comuta, astfel încât schimbătorul de legătură primar să devină condensator. Tendința actuală este însă de a implementa și adapta circuitul de refrigerant existent pentru a realiza și managementul termic al bateriei [5]. Răcirea cu refrigerant (fig. 6.1c) este o tehnologie promițătoare datorită performanțelor ridicate de preluare a căldurii și integrarea relativ ușoară în autovehicule electrice și hibride, având în vedere că acestea sunt deja echipate cu un sistem de aer condiționat pentru reglarea temperaturii în habitacul.

Din punct de vedere al schimbătoarelor de căldură se preferă soluția unor plăci de răcire foarte subțiri, cu canale integrate, montate în partea inferioară a bateriei. Alternativ, se poate implementa un sistem de canale cu secțiune rectangulară între acumulatori, ceea ce asigură o eficiență sporită datorită suprafeței de contact mai mari, dar, simultan cresc complexitatea și costurile. O altă soluție care se ia în considerare este de a utiliza lichide dielectrice cu capacitate de răcire ridicată, aflate în contact direct cu acumulatorii, ceea ce ar permite reducerea masei totale a sistemului cu până la 30% [10]. La modul general, direcțiile de cercetare ale sistemelor de răcire cu lichid cuprind dezvoltarea unor vaporizatoare de putere mare, plăci de răcire cu dimensiuni mărite, compresoare electrice având putere și capacitate de răcire mărite, respectiv module de răcire de mare putere, optimizate acustic, care să integreze și condensatoarele, poziționate în partea din față a autovehiculului.

Alte direcții de dezvoltare vizează creșterea eficienței și a flexibilității sistemelor de răcire prin implementarea unor dispozitive precum tuburile termice sau modulele termoelectrice, respectiv a materialelor cu schimbare de fază. Mai mult, sunt analizate pentru a fi propuse ca eventuale soluții și sistemele hibride, care combină două sau mai multe concepte, astfel încât punctele slabe ale unui sistem să fie compensate prin proprietățile celui alt sistem. Astfel, eficiența globală a sistemelor de management termic ce echipează bateriile de acumulatori poate fi îmbunătățită, iar modalitățile de control devin mai numeroase și mai diversificate [11].

## 6.2. Confortul termic al ocupanților autovehiculelor

Așa cum s-a amintit anterior, în cazul autovehiculelor electrice actuale, strategiile de răcire și încălzire a bateriilor de acumulatori sunt combinate cu cele de control al încălzirii, ventilării și climatizării (HVAC = Heating, Ventilation and Air Conditioning) a habitaculului. Prin urmare sunt necesare strategii inteligente de management termic pentru rezolvarea compromisului dintre confortul termic al ocupanților autovehiculului și consumul de energie. În același timp, diversificarea sistemelor de propulsie înseamnă și o creștere a numărului de sarcini ce trebuie respectate, fiind nevoie de circuite ce funcționează la regimuri termice diferite. De exemplu, în cazul unui autovehicul de tip hibrid, lista cerințelor termice cuprinde [12]:

- ▶ *Răcirea motorului cu ardere internă*: temperatură lichid de răcire  $\approx 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- ▶ *Răcirea aerului de admisie* (motor cu ardere internă supraalimentat): temperatură aer mai mare cu  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  față de temperatură ambientală;
- ▶ *Încălzirea habitaculului*: temperatură lichid de răcire  $\approx 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- ▶ *Răcirea habitaculului*: temperatură refrigerant  $\approx 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- ▶ *Răcirea motorului electric*: temperatură lichid de răcire  $\approx 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- ▶ *Încălzirea bateriei*: temperatură lichid de răcire  $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- ▶ *Răcirea bateriei*: temperatură lichid de răcire  $< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

- *Răcirea componentelor electronice de putere: temperatură lichid de răcire < 60 °C.*

Deși la o primă vedere trecerea la un sistem de propulsie pur electric simplifică problema managementului termic, dispare sursa principală de energie termică reziduală ce putea fi folosită la încălzirea habitacului și a bateriei și anume motorul cu ardere internă. Majoritatea autovehiculelor electrice actuale se bazează pe folosirea unor rezistențe electrice pentru înlocuirea fluxului termic cedat de motorul termic, ceea ce are ca efect un consum semnificativ de energie electrică din bateria de acumulatori. Acest proces de încălzire poate fi aplicat atât aerului pentru habitacul, cât și unui lichid de răcire care să deservească atât habitacul cât și bateria de acumulatori [13]. În anotimpul rece, la -7...-10 °C, puterea de încălzire necesară este de aproximativ 6 kW, ceea ce, pentru un autovehicul electric echipat cu o baterie de 24 kWh înseamnă o scădere a autonomiei cu 40-45% [10,14]. La 35 °C, puterea necesară antrenării compresorului sistemului de aer condiționat este de aproximativ 4.5 kW, ceea ce reduce la rândul său autonomia cu până la 20% [10]. Chiar și în cazul autovehiculelor hibride de tip plug-in, o călătorie locală cu emisii zero devine imposibilă în condiții de iarnă, din cauza consumului ridicat de energie electrică pentru încălzire. Pentru întârzierea sau chiar evitarea pornirii motorului cu ardere internă, se fac cercetări cu privire la soluții alternative care să asigure, cel puțin parțial, energia termică necesară încălzirii habitacului și a bateriei de acumulatori. În acest scop se consideră utilizarea unui încălzitor alimentat cu combustibil sau a unei pompe de căldură, eventual în paralel cu rezistența electrică convențională. Aceste soluții sunt susținute de numeroase studii [15,16] care au demonstrat posibilitatea creșterii autonomiei în regim pur electric și reducerea emisiilor totale de CO<sub>2</sub>. Așadar, una dintre principalele tendințe este de limitare a impactului negativ al cerințelor de confort termic al pasagerilor asupra autonomiei vehiculelor electrice [17].

Conform figurii 6.2, un astfel de sistem de management termic este compus din [18]: circuitul refrigerant, circuitul rece (conectat la circuitul refrigerant prin vaporizatorul acestuia), respectiv circuitul cald (conectat la circuitul

refrigerant prin condensatorul acestuia). În modul de răcire, circuitul rece are funcție de aer condiționat pentru habitacul, respectiv de răcire a bateriei de acumulatori. Fluxul termic preluat din aceste surse este cedat vaporizatorului din circuitul refrigerant, unde această energie este transferată prin intermediul condensatorului circuitului cald, pentru disipare în mediul ambiant printr-un schimbător de căldură. În modul de încălzire, circuitul rece are funcție de pompă de căldură, preluând energie termică din mediul ambiant prin același schimbător de căldură. Fluxul termic este cedat vaporizatorului, de unde este transferat circuitului cald prin intermediul condensatorului, pentru încălzirea habitaculului și, la nevoie, pentru ridicarea temperaturii bateriei la un nivel care să asigure o funcționare eficientă. Pentru a crește capacitatea totală de încălzire și celelalte componente din sistemul de tracțiune își cedează fluxul termic rezidual circuitului rece. După atingerea unui prag de temperatură care să asigure o funcționare eficientă a bateriei, căldura generată în baterie poate fi și ea redirecționată către habitacul, crescând astfel autonomia pe timp de iarnă cu până la 20% [10].

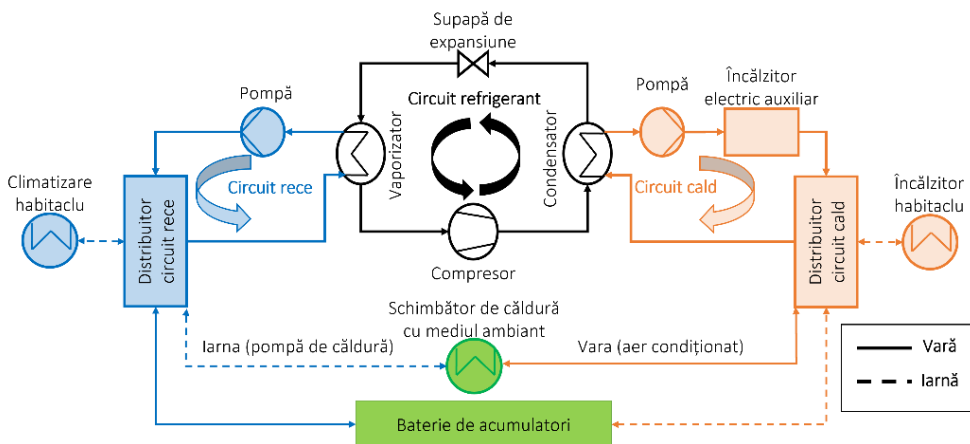


Fig. 6.2 Sistem de management termic cu circuite integrate

Pentru autovehicule cu pile de combustibil se poate aplica un alt concept de climatizare a habitaculului, care constă în conversia energiei potențiale neutilizate a hidrogenului (reprezentând 15% din puterea calorică inferioară

a hidrogenului atunci când este stocat la 700 bar) în energie termică [19]. Acest proces este realizat prin intermediul unui reactor metal-hidrid, care generează un flux termic negativ sau pozitiv ce poate fi apoi utilizat la climatizarea habitaculului. Un astfel de sistem este potrivit mai ales autovehiculelor electrice cu pile de combustibil, dar poate fi implementat și în cazul celor cu baterie de acumulatori. Suplimentar, dacă se implementează soluții de control cu inteligență artificială [10], se poate eficientiza și modul de distribuție a energiei termice în habitacul, fiind posibilă o reducere a energiei consumate pentru asigurarea confortului termic al conducătorului cu până la 50%.

### **6.3. Managementul termic al autobuzelor urbane**

La nivel de abordare a problemelor de management termic, apare o diferențiere între autoturisme și autovehicule de transport marfă sau persoane. În cazul autoturismelor, având în vedere numărul mare de unități vândute, este rentabil a se dezvolta soluții individuale de management termic, capabile să facă față oricărui ciclu de testare și numeroase condiții atmosferice. Pentru celelalte sectoare, deoarece volumul de vânzări este redus, în cele mai multe cazuri nu este justificat din punct de vedere economic să se dezvolte o soluție personalizată pentru fiecare model. În plus, trebuie avut în vedere și caracterul specific al condițiilor de funcționare care, în numeroase cazuri, este unul predefinit (spre exemplu, atunci când se parcurge în mod regulat același traseu, cum ar fi cazul autobuzelor urbane). Totodată, în cazul parcurgerii aceluiași traseu în mod regulat, volumul de calcule de proiectare se reduce, permițând astfel creșterea preciziei. Având în vedere aspectele enumerate anterior, una dintre tendințe este de a dezvolta sisteme modulare care încorporează acumulatorii Li-ion și sistemul de management termic aferent [20]. Prin urmare, pot apărea cazuri în care un sistem de management termic al bateriei nu este rentabil. O astfel de situație apare atunci când clima locală se suprapune peste profilul de deplasare în așa fel încât acumulatorii rămân în intervalul optim de funcționare, fără a fi nevoie de o intervenție externă. În alte cazuri specifice,

se poate analiza care variantă este mai avantajoasă financiar:  $n$  baterii cu management termic sau  $n+x$  baterii fără management termic [20]. Bateria suplimentară crește energia disponibilă, iar în anumite condiții atmosferice poate fi suficient dacă doar o parte din baterii sunt folosite.

În cazul autobuzelor urbane, cerințele energetice pentru încălzirea și climatizarea cabinei de pasageri cresc din cauza volumului interior mare, a suprafețelor predominant vitrate și a deschiderii ușilor în fiecare stație. Și la acest tip de autovehicule, tendința este de a înlocui soluția convențională (care folosește rezistențe electrice) cu pompe de căldură, mai eficiente energetic și care pot funcționa atât în regim de încălzire cât și de răcire. În acest caz, sistemul modular prezintă avantajul că numărul de module poate fi adaptat în funcție de cerințele specifice ale clientului și de condițiile climatice locale, rezultând astfel o eficiență mărită și costuri scăzute [21]. Suplimentar, modularitatea întregului sistem permite o strategie de control flexibilă. De exemplu, la sarcini reduse, pot fi puse în funcțiune doar o parte dintre module care să fie operate într-un punct de funcționare cu randament ridicat.

O altă tendință în domeniul pompelor de căldură folosite pentru asigurarea confortului termic al pasagerilor autobuzelor urbane este înlocuirea refrigeranților convenționali cu R-744, adică  $\text{CO}_2$  [21,22]. Acesta este un agent mai potrivit din punct de vedere ecologic și economic. Comparativ cu alți refrigeranți, în cazul în care acesta este eliberat în atmosferă, nu există riscuri de toxicitate sau de inflamabilitate.

#### **6.4. Aspecte privind simularea și controlul managementului termic**

O altă direcție de dezvoltare urmărește evaluarea cantității de energie ce poate fi economisită pentru traseele a căror cerințe sunt cunoscute. Planificarea din timp permite eficientizarea controlului predictiv al managementului termic și astfel, reducerea consumului de energie cu 2 până la 11% (în funcție de condițiile atmosferice) și îmbunătățirea semnificativă a



estimărilor de autonomie [23]. Un exemplu concret în acest sens este prezentat în următoarea situație [24]: în cazul pornirii la rece, atât bateria cât și habitacul trebuie încălzite; fără opțiunea unui control predictiv, bateria va fi direcționată spre atingerea temperaturii țintă, fără a lua în calcul inerția termică a bateriei, ceea ce reprezintă un potențial de optimizare semnificativ; în cazul urcării unei rampe, cererea de răcire a bateriei crește rapid; așadar, bateria s-a încălzit înainte de rampă, iar în timpul urcării trebuie răcită; dacă rampa ar fi recunoscută, algoritmi de control predictiv ar putea economisi din energia consumată cu încălzirea și răcirea bateriei, pentru a fi redirecționată înspre încălzirea habitaculului sau creșterea autonomiei.

O altă tendință importantă, valabilă pentru întregul proces de proiectare al autovehiculelor, este dezvoltarea unor medii de simulare performante, robuste și eficiente, care integrează sistemele individuale (cum este și cel de management termic) într-un model holistic cu un nivel mare de interconectivitate. Simularea în mediul virtual permite analiza unor condiții ce nu se pot obține în funcționare reală, cum ar fi impunerea unei temperaturi constante la anumite componente pentru a izola efectul pe care acestea le-ar avea asupra performanțelor. Astfel, în cazul unei componente de interes, se poate modifica în mod succesiv temperatura acesteia, pentru a analiza influența globală pe care aceasta o are asupra performanțelor autovehiculului. Suplimentar, este de așteptat ca acest tip de modele de simulare să includă subsisteme (cum ar fi bateria, electronica de putere, motorul, transmisia și HVAC) cu analize specifice fiecărui subsistem în parte (ex. magnetice pentru motor, chimice pentru acumulatori, de ungere pentru transmisie etc.) [25]. Doar astfel se pot înțelege interacțiunile dintre subsisteme și efectele asupra performanțelor globale ale autovehiculului. Modelele dezvoltate pot fi îmbunătățite cu analize și obiective suplimentare, cum ar fi încadrarea în anumite limite financiare sau ecologice [26].

O altă soluție de interes este co-simularea [26]. Cuplarea modelelor ce caracterizează circuitele HVAC cu simulări de tip CFD (Computational Fluid Dynamics), care permit vizualizarea fluxurilor de aer în interiorul habitaculului sau a cabinei de pasageri permit, la rândul lor, identificarea

direcțiilor de îmbunătățire a eficienței sistemului [27]. Tot în categoria co-simulării se încadrează și analiza simultană a performanțelor termice, mecanice și chimice ale acumulatorilor, prin intermediul cuplării cu metode de calcul pe bază de elemente finite (simulări CAE = Computer Aided Engineering) [28]. Această metodă permite urmărirea mecanismelor de îmbătrânire a acumulatorilor, a solicitărilor mecanice ce deteriorează integritatea structurii electrozilor, respectiv a generării fluxurilor termice reversibile și ireversibile, toate fiind dependente de temperatura acumulatorilor. Astfel, legătura dintre metodologiile de calcul bazate pe element finit și managementul termic al bateriei oferă avantaje atât în ceea ce privește durata de viață a acumulatorilor, cât și al autonomiei vehiculului.

## 6.5. Concluzii

Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră reprezintă o prioritate în tendințele din domeniile tehnice, iar în cazul autovehiculelor acest lucru se concretizează prin electrificarea sistemelor de propulsie și creșterea eficienței energetice. Deoarece este responsabil de controlul fluxurilor de energie termică din sistemul de propulsie și habitacul, cu impact semnificativ asupra autonomiei autovehiculelor electrice, managementul termic are un rol tot mai important în cercetările din domeniu. Creșterea vitezei de încărcare și reducerea impactului condițiilor atmosferice asupra eficienței bateriei unui vehicul electric sunt printre principale cerințele ale utilizatorilor de autovehicule electrice. Aceste cerințe pot fi însă îndeplinite doar prin sisteme inteligente de management termic care, prin controlul eficient al resurselor energetice disponibile, asigură atât temperaturile optime de funcționare a componentelor din sistemul de propulsie, cât și confortul termic al pasagerilor. În ceea ce privește autobuzele urbane, tendința este de a dezvolta baterii și sisteme de management termic modulare, care să ofere flexibilitate în procesul de proiectare, în concordanță cu cerințelor specifice ale clientului și condițiile climatice locale.

## 6.6. Bibliografie

- [1] Pales, A.F., Bouckaert, S., Abergel, T., and Goodson, T., "Net zero by 2050 hinges on a global push to increase energy efficiency – Analysis," Apr. 2023.
- [2] \*\*\* European Environment Agency, "New registrations of electric cars, EU-27," [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/new-electric-vehicles-in-eu-2#tab-chart\\_3](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/new-electric-vehicles-in-eu-2#tab-chart_3), Apr. 2023.
- [3] Wang, Q., Jiang, B., Li, B., and Yan, Y., A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 64, 2016, doi:10.1016/j.rser.2016.05.033.
- [4] Spitthoff, L., Shearing, P.R., and Burheim, O.S., Temperature, ageing and thermal management of lithium-ion batteries, *Energies (Basel)* 14(5), 2021, doi:10.3390/en14051248.
- [5] Kim, J., Oh, J., and Lee, H., Review on battery thermal management system for electric vehicles, *Appl Therm Eng* 149, 2019, doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.12.020.
- [6] Troxler, Y., Wu, B., Marinescu, M., Yufit, V., Patel, Y., Marquis, A.J., Brandon, N.P., and Offer, G.J., "The effect of thermal gradients on the performance of lithium-ion batteries," *J Power Sources* 247:1018–1025, 2014, doi:10.1016/J.JPOWSOUR.2013.06.084.
- [7] Jaguemont, J., Boulon, L., Dube, Y., and Martel, F., "Thermal Management of a Hybrid Electric Vehicle in Cold Weather," *IEEE Transactions on Energy Conversion* 31(3), 2016, doi:10.1109/TEC.2016.2553700.
- [8] Jiang, L., Zhang, H., Li, J., and Xia, P., "Thermal performance of a cylindrical battery module impregnated with PCM composite based on thermoelectric cooling," *Energy* 188, 2019, doi:10.1016/j.energy.2019.116048.

- 
- [9] Hemery, C.-V., "Etude des phenomenes thermiques dans les batteries Li-ion," 2014.
- [10] Bordes, F., "Combination of Battery Cooling and Passenger Comfort," ATZ Worldwide 123(10), 2021, doi:10.1007/s38311-021-0705-7.
- [11] Buidin, T.I.C. and Mariasiu, F., Battery thermal management systems: Current status and design approach of cooling technologies, *Energies* (Basel) 14(16), 2021, doi:10.3390/en14164879.
- [12] Wawzyniak, M., Art, L., Jung, M., and Ahmed, F. Ben, "Thermal Management as a Basic Prerequisite for Electric Mobility," ATZ Worldwide 119(9), 2017, doi:10.1007/s38311-017-0092-2.
- [13] Stifel, T., "Optimization and Protection of Traction Batteries with an HV Coolant Heater," ATZ Worldwide 123(2), 2021, doi:10.1007/s38311-020-0619-9.
- [14] Chowdhury, S., Leitzel, L., Zima, M., Santacesaria, M., Titov, G., Lustbader, J., Rugh, J., Winkler, J., Khawaja, A., and Govindarajalu, M., "Total Thermal Management of Battery Electric Vehicles (BEVs)," SAE Technical Papers, 2018, doi:10.4271/2018-37-0026.
- [15] Eberspach, G., Eger, J., Fischer, T., and Burgert, T., "Range Extension of Plug-in Hybrids through Thermal Management Measures," ATZ Worldwide 121(3), 2019, doi:10.1007/s38311-018-0232-3.
- [16] Eberspach, G., Eger, J., Cleven, M., and Burgert, T., "Increase of Electric Range for PHEVs Due to Intelligent Thermal Management," ATZ Worldwide 123(2), 2021, doi:10.1007/s38311-020-0615-0.
- [17] Jeffs, J., Dinh, T.Q., Widanage, W.D., McGordon, A., and Picarelli, A., "Optimisation of direct battery thermal management for evs operating in low-temperature climates," *Energies* (Basel) 13(22), 2020, doi:10.3390/en13225980.
- [18] Chowdhury, S., Leitzel, L., and Zima, M., "Thermal System for Electric Vehicles with Coolant-based Heat Pump," ATZ Worldwide 121(5), 2019, doi:10.1007/s38311-019-0022-6.

- [19] Hegner, R. and Weckerle, C., "Climatization Unit Based on Metal Hydrides for Electric Vehicles with Battery or Fuel Cell," ATZ Worldwide 122(1), 2020, doi:10.1007/s38311-019-0154-8.
- [20] Pöhner, M., "Temperature Control of Traction Batteries for Increased Performance," ATZ Worldwide 123(7–8), 2021, doi:10.1007/s38311-021-0672-z.
- [21] Peteranderl, C., Bernath, M., Tegethoff, W., and Ille, T., "Heat Pump Modules with R744 for City Busses," ATZ Worldwide 124(2–3), 2022, doi:10.1007/s38311-021-0768-5.
- [22] Bareiß, M. and Vorgerd, D., "Thermal Management for Electrically Operated City Buses," ATZ Worldwide 121(2), 2019, doi:10.1007/s38311-018-0225-2.
- [23] Auer, M., Wiedemann, J., Widdecke, N., and Kuthada, T., "Increase of Range of Battery Electric Vehicles through Thermal Management," ATZ Worldwide 117(7–8), 2015, doi:10.1007/s38311-015-0037-6.
- [24] Drage, P., Seebald, F., Paul, C., and Hinteregger, M., "Klimatisierungskonzepte für Fahrzeuge der Zukunft," ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift 119(9), 2017, doi:10.1007/s35148-017-0089-6.
- [25] Shutty, J., Bongards, A., Kondipati, N., and Ristevski, S., "Thermal Management of Electrified Propulsion Systems," ATZ Worldwide 124(9), 2022, doi:10.1007/s38311-022-0853-4.
- [26] Stan, C., "Termodinamica automobilului," 1st ed., Matrixrom, ISBN 978-606-25-0354-3, 2017.
- [27] Bires, M., Paul, C., and Drage, P., "Smart Approach for the Thermal Management of Electric Vehicles," ATZ Worldwide 2021 123:2 123(2):40–43, 2021, doi:10.1007/S38311-020-0612-3.
- [28] Mirsalehian, M. and Beykirch, R., "Thermal Investigation and Physical Modeling of Lithium-ion Batteries," ATZ Worldwide 122(2), 2020, doi:10.1007/s38311-019-0172-6.

## 7. ASPECTE PRIVIND POSIBILITĂȚILE DE UTILIZARE A PANOURILOR FOTOVOLTAICE ÎN DOMENIUL AUTOVEHICULELOR

Începând cu anul 2010 transportul de mărfuri în Europa și de altfel în întreaga lume a început să crească semnificativ datorită cererilor tot mai numeroase venite din partea consumatorilor. Acest aspect a condus la creșterea poluării și a efectului de seră prin creșterea emisiilor de CO<sub>2</sub>. Conform datelor din literatură sectorul de transport este responsabil de aproximativ 27% din emisia gazelor cu efect de seră [1].

Toate acestea evidențiază nevoia de implementare cât mai rapidă a unor soluții care utilizează surse alternative de energie cu impact redus asupra mediului. Un tip foarte important de energie alternativă verde este cea obținută din energia solară. Aceasta poate fi captată și convertită în energie electrică cu ajutorul celulelor fotovoltaice rezultatul fiind obținerea unui curent continuu care poate fi stocat sau utilizat în diverse scopuri. Fenomenul poate fi descris astfel: atunci când un foton lovește panoul fotovoltaic are loc eliberarea unui electron (lumina solară este transformată în energie electrică) care, mai apoi poate fi utilizată de către sistemele autovehiculelor de transport marfă și/sau călători. Prin urmare, în domeniul transportului, o alternativă mai puțin poluantă (aspect care depinde de lanțul de fabricație și de sursa de energie) este utilizarea vehiculelor electrice și hibride [2].

*De ce este atât de important domeniul transportului?*

O dezvoltare sustenabilă și eficientă a mediului urban, a orașelor se bazează pe un transport urban de călători eficient și de calitate. Suplimentar transportul de marfă are un rol deosebit de important în competitivitatea urbană și în dezvoltarea economiei locale [3, 4].

## 7.1. Aspecte generale

În vederea reducerii poluării mai ales în zonele urbane, în ultimii ani au fost introduse numeroase restricții de circulație în special pentru vehiculele de transport marfă precum și diverse taxe și norme a căror consecință principală a fost o creștere continuă a prețurilor produselor conducând astfel la nemulțumiri din partea consumatorilor finali.

Prin transport de marfă în zona urbană și metropolitană se înțelege atât transportul cu amănuntul (preluare și livrare) cât și serviciile de curierat și coletărie, precum și transportul deșeurilor [4]. Aceste aspecte aduc din nou în prim plan utilizarea vehiculelor electrice în domeniul transportului. Sub acest aspect introducerea unor reduceri de taxe, taxe preferențiale sau alte subvenții în vederea achiziționării de vehicule electrice în Norvegia, transformă această țară într-un lider European și chiar mondial în utilizarea de energii alternative în domeniul transportului [5].

În ultimii ani și la nivelul Uniunii Europene (U.E.) au fost luate diverse măsuri în vederea reducerii poluării și au fost acordate diverse stimulente pentru achiziționarea de vehicule electrice inclusiv în țara noastră. Este foarte dificil să se stabilească care dintre vehiculele care folosesc energii alternative sunt mai convenabile deoarece toate prezintă atât avantaje cât și dezavantaje.

Vehiculele electrice sunt cele care utilizează baterii pentru stocarea energiei electrice și motoare electrice având eficiențe ridicate, ceea ce face ca acest tip de autovehicule să fie cele mai eficiente dintre cele care utilizează energii alternative verzi [5]. Avantaje și dezavantaje ale acestui tip de autovehicule sunt prezentate în tabelul 7.1:

Tabelul 7.1 Avantaje și dezavantaje ale vehiculelor electrice

Avantaje	Dezavantaje
Eliminarea unor componente grele (ex. cutia de viteze)	Timp mare de reîncărcare
Nivel scăzut de zgomot	Autonomie redusă
Nivel scăzut emisii de CO <sub>2</sub>	Greutate considerabilă a bateriilor
Foarte ușor de manevrat	Preț destul de mare în special pentru vehiculele cu baterii cu autonomie ridicată și
Se pot reîncărca de la o stație standard de încărcare.	timp de reîncărcare scurt

## 7.2. Tendințe și impact

O parte din energia necesară reîncărcării bateriilor sau menținerii în funcțiune a autovehiculelor electrice se poate obține prin utilizarea de panouri fotovoltaice montate pe autovehicul. În acest scop, se evidențiază următoarele direcții posibile de dezvoltare:

- montarea de panouri fotovoltaice pe autovehiculele electrice și utilizarea lor pentru transportul de mărfuri și persoane;
- montarea de panouri solare pe autovehiculele clasice cu motoare pe combustibili obișnuiți;
- îmbunătățirea panourilor fotovoltaice prin utilizarea unor compuși noi care să crească capacitatea acestora de a produce energie electrică cu scopul de a asigura o autonomie cât mai mare a autovehiculului respectiv sau chiar funcționarea fără necesitatea de reîncărcare a bateriilor (din surse clasice de energie electrică);
- dezvoltarea capacității de stocare a energiei pe autovehicule prin utilizarea unor dispozitive bazate pe vitroceramici dielectrice cu densitate energetică ridicată de exemplu vitroceramicele feroelectrice (materiale care conțin atât faze amorfe vitroase cât și multe faze cristaline cu proprietăți feroelectrice) bazate pe niobiu sau titan [6];
- dezvoltarea unor panouri fotovoltaice eficiente dar în același timp cu costuri reduse;



- creșterea numărului de vehicule de transport marfă sau călători care să fie echipate cu panouri fotovoltaice;
- designul unei infrastructuri logistice care să suporte utilizarea de vehicule dotate cu panouri fotovoltaice;
- montarea de panouri fotovoltaice inclusiv pe capul tractor și pe părțile laterale ale containerelor de marfă nu doar pe plafonul acestora (acest trend fiind nou și la început). De exemplu în anul 2017 este menționat faptul că doar două din șapte camioane ale NACFE (North American Council for Freight Efficiency) au montate pe capul tractor panouri fotovoltaice [7].
- deoarece panourile solare montate pe capul tractor sunt flexibile conform datelor existente [7], o altă provocare ar putea fi dezvoltarea unor panouri solare mult mai flexibile decât cele existente și cu greutate mult mai mică pentru a se evita creșterea greutății camionului care ar duce din nou la creșterea consumului de energie sau combustibil. Figura 7.1 prezintă un astfel de caz.



*Fig. 7.1 Vehicul transport marfă echipat cu panouri fotovoltaice pe capul tractor*

*Este util să folosim panouri fotovoltaice la autovehicule?*

La un camion pe care este montat un panou solar de 300 W așezat astfel încât la amiază razele solare să fie perpendiculare pe el (atunci se atinge capacitatea maximă de transformare a energiei solare în energie electrică) se produce o cantitate de energie care, în condiții ideale, permite economisirea

a 3,8 l combustibil pe oră [7]. Eficiența panourilor fotovoltaice depinde însă de mai mulți factori: poziția față de razele solare; factori meteo; tipul de tehnologie al panoului (un panou monocristalin are eficiența cea mai mare 22% dar este relativ scump în comparație cu cel cu silicon amorf 10% eficiență și mult mai ieftin).

Figura 7.2 pune în evidență energia electrică produsă în funcție de momentul din zi de un sistem de panouri (montat orizontal) cu o putere de 1 kW. Se poate observa că puterea maximă de generare se atinge doar în jurul orei 12:00 [8]. Cu toate acestea, energia electrică produsă de panourile solare poate fi stocată în bateria autovehiculului, ceea ce duce la economii de combustibil, timp și energie electrică din rețea (dacă autovehiculul este hibrid sau electric).

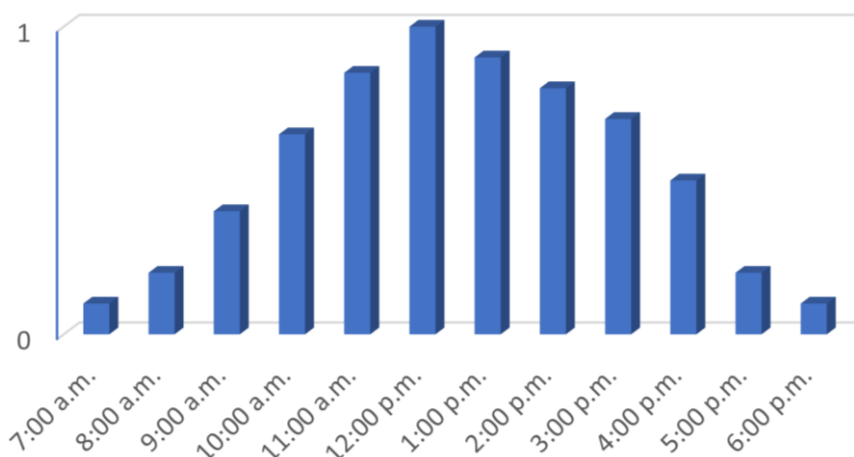


Fig. 7.2 Rata medie de energie electrică produsă pe parcursul unei zile de un sistem de panouri fotovoltaice de 1 kW (adaptare după [8])

Impactul utilizării panourilor fotovoltaice în activitatea de transport poate fi descris prin următoarele aspecte:

- reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră în special de CO<sub>2</sub>;
- reducerea consumului de combustibil;
- reducerea consumului de energie electrică din sursele clasice;

- reducerea costurilor de transport;
- reducerea zgomotului din mediul urban și nu numai;
- reducerea particulelor solide emise în atmosferă.

În figura 7.3 se prezintă o posibilă soluție de montare a panourilor fotovoltaice pentru autovehiculele de transport marfă, respectiv pe acoperișul remorcii.



*Fig. 7.3 Vehicul transport marfă echipat cu panouri fotovoltaice pe acoperișul remorcii acestuia*

O astfel de soluție a fost testată și de Fraunhofer Institute for Solar Energy System ISE [9] cu un camion pe care au fost montate panouri fotovoltaice cu o putere totală de 3,5 kW și tensiune înaltă. Greutatea autotrenului de transport marfă este de 18 t fiind echipat și cu baterii suplimentare de tensiune înaltă (până la 400 V) dar care totuși să nu prezinte riscuri deosebite în cazul unui accident rutier (în acest caz tot sistemul de înaltă tensiune decuplează automat) [9]. Toate aceste modificări aduse autovehiculului au fost aprobate de către organismele abilitate și acesta a fost introdus în trafic, în circulație pe șoselele din Germania fiind testat timp de un an de zile

începând cu decembrie 2021. Concluzia testelor efectuate a fost că utilizarea acestor tipuri de autovehicule în vederea transportului de marfă prezintă avantajul de a reduce poluarea prin reducerea consumului de energie al autovehiculului cu 5 până la 10 %. Având în vedere țintele actuale de reducere a poluării, această valoare este insuficientă, motiv pentru care este necesară dezvoltarea unor panouri solare îmbunătățite.

Tendențele de utilizare a panourilor solare în domeniul transportului de marfă și mai ales acolo unde se utilizează o remorcă refrigerată este în continuă creștere. Conform datelor existente [10], în S.U.A. se vând anual peste 50 000 de remorci cu refrigerare care utilizează energia produsă de panourile fotovoltaice montate în partea superioară. Energia produsă de panouri este stocată pentru a putea fi folosită ulterior la menținerea temperaturii necesare în remorcă (de obicei, aceste remorci sunt utilizate la transportul mărfurilor perisabile).

Panourile fotovoltaice pot fi montate și pe autoturisme. Un exemplu recent de astfel de vehicul este Lightyear One [11] care are montate astfel de panouri pe o suprafață de 5 m<sup>2</sup> (pe plafon și capotă). Acest lucru permite ca, în condiții ideale să se genereze o cantitate de energie suficientă pentru aproximativ 70 km [11].

Având în vedere tendințele actuale privind poluarea mediului și eficiența energetică, o altă posibilă soluție este montarea de panouri fotovoltaice pe autovehiculele de transport urban de călători (fie ele clasice sau electrice) pentru a reduce consumul de carburant sau de energie electrică consumată din rețea (în cazul troleibuzelor, tramvaielor sau autobuzelor electrice).

În cazul unui parc auto format din troleibuze și tramvaie, o altă metodă de utilizare a panourilor fotovoltaice este utilizarea unor instalații de panouri fotovoltaice complexe în depouri care să genereze electricitate, care mai apoi să fie transmisă prin liniile de contact direct autovehiculelor implicate [2]. În acest caz nu mai este necesară montarea panourilor pe autovehicule.

### **7.3. Concluzii**

Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră se poate efectua prin introducerea în domeniul transportului de marfă și călători a vehiculelor care au montate panouri fotovoltaice, ceea ce ar conduce și la reducerea consumului de energie electrică din rețea.

În plus, montarea de celule fotovoltaice pe vehicule electrice conduce și la creșterea autonomiei de deplasare. Pe de altă parte, pentru aceeași autonomie, s-ar putea reduce masa bateriilor prin reducerea capacității de stocare.

În ceea ce privește autovehiculele cu propulsie clasică, utilizarea de panouri solare permite reducerea consumului de combustibil și astfel a emisiilor de CO<sub>2</sub>. Un alt avantaj este faptul că, implicit, s-ar reduce și costurile de transport.

## 7.4. Bibliografie

- [1] Wang, C., Cai, W., Lu, X., and Chen, J., "CO2 mitigation scenarios in China's road transport sector," *Energy Convers Manag* 48(7), 2007, doi:10.1016/j.enconman.2006.12.022.
- [2] Bartłomiejczyk, M., "Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems," *Energies (Basel)* 11(4), 2018, doi:10.3390/en11040954.
- [3] Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., and Rhoades, J., "Sustainable city logistics - Making cargo cycles viable for urban freight transport," *Research in Transportation Business and Management* 15, 2015, doi:10.1016/j.rtbm.2015.02.001.
- [4] Muñoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J.R., and Faulin, J., "Impact of the use of electric vehicles in collaborative urban transport networks: A case study," *Transp Res D Transp Environ* 50, 2017, doi:10.1016/j.trd.2016.10.018.
- [5] Iwan, S., Kijewska, K., and Kijewski, D., "Possibilities of Applying Electrically Powered Vehicles in Urban Freight Transport," *Procedia Soc Behav Sci* 151, 2014, doi:10.1016/j.sbspro.2014.10.010.
- [6] Liu, S., Shen, B., Hao, H., and Zhai, J., Glass-ceramic dielectric materials with high energy density and ultra-fast discharge speed for high power energy storage applications, *J Mater Chem C Mater* 7(48), 2019, doi:10.1039/c9tc05253d.
- [7] \*\*\* NACFE - North American Council for Freight Efficiency, "Idle Reduction," <https://nacfe.org/research/idle-reduction/#solar-panels-tractors>, Apr. 2023.
- [8] \*\*\* Solarquotes, "How Much Solar Power Do I Need? - Solar Panel System Sizing Advice," <https://www.solarquotes.com.au/how-does-solar-power-work/how-much-power-do-i-need/>, Apr. 2023.

- 
- [9] \*\*\* Fraunhofer ISE, "Electric Truck with Fully Integrated Photovoltaics Picks Up Speed," <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2021/electric-truck-with-fully-integrated-photovoltaics-picks-up-speed.html>, Apr. 2023.
- [10] \*\*\* Good News Network, "Solar-Powered Refrigeration Trucks Will Cut Pollution From Idling Diesel Engines," <https://www.goodnewsnetwork.org/1000-solar-powered-enow-refrigeration-trucks/>, Apr. 2023.
- [11] Lightyear, <https://lightyear.one/impact>, Apr. 2023.

## **8. METODE DE MODELARE ȘI SIMULARE A VEHICULELOR CU PILE DE COMBUSTIBIL UTILIZÂND MATLAB/SIMULINK ȘI AVL CRUISE M**

Propulsia autovehiculelor utilizând pilele de combustibil cu hidrogen reprezintă una dintre cele mai viabile opțiuni în domeniul transportului având în vedere cadrul climatic, economic și politic actual. Utilizarea unei astfel de tehnologii introduce de la sine posibilitatea generării unor soluții de mobilitate eficiente atât din punct de vedere energetic, cât și din punct de vedere al performanțelor [1, 7]. Principalul avantaj oferit de adoptarea la scară largă a propulsiei cu pile de combustibil cu hidrogen, este posibilitatea utilizării hidrogenului ca mijloc principal de stocare a energiei prin intermediul unor rezervoare, aspect care duce la pierderi minime de energie și la autonomii de transport net superioare în comparație cu alte tipuri de autovehicule [1, 7].

Pilele de combustibil cu hidrogen reprezintă ansamble electrochimice complexe, capabile prin construcția lor, de a genera energie electrică, atunci când sunt alimentate. În mod principal, acestea transformă energia chimică conținută în combustibilul cu care sunt alimentate, în energie electrică. Structura tipică a unei pile de combustibil cu hidrogen este formată din electrolit, anod, catod și plăci conductoare. O astfel de structură este ilustrată în figura 8.1. Elementele necesare generării energiei electrice (combustibil și aer) sunt transportate în circuite dedicate și livrate în mod continuu la nivelul pilei, prin intermediul unor plăci conductoare profilate adecvat pentru a ghida atât fluxul combustibilului, cât și fluxul de aer [2, 3, 7].



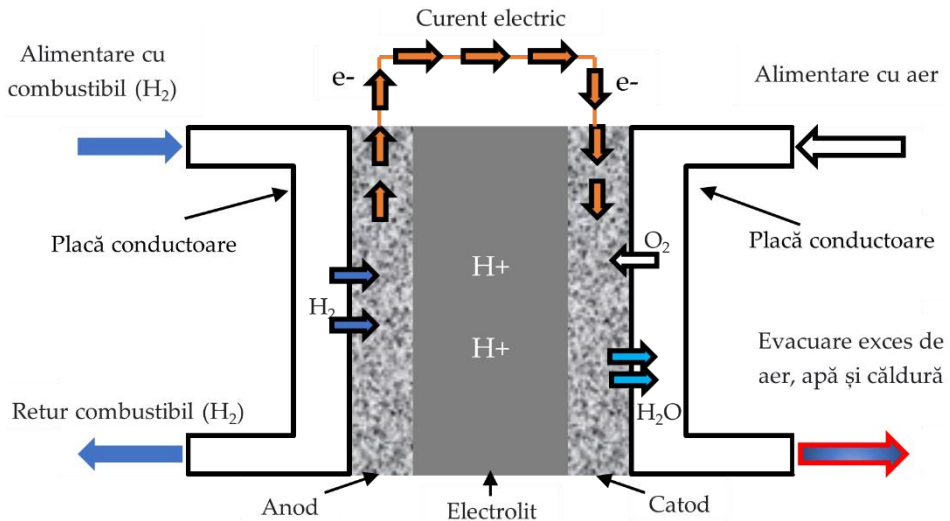


Fig. 8.1 Schema funcțională a unei pile de combustibil cu hidrogen – adaptare după [2]

Moleculele de hidrogen ajunse în dreptul anodului, vor fi descompuse catalitic în protoni și electroni. Protonii vor fi transferați către catod prin intermediul electrolitului, în timp ce electronii vor fi preluați de un circuit extern având în componență un consumator, generând astfel energia electrică dezvoltată de pila de combustibil. Moleculele de oxigen din aerul furnizat în partea catodului vor intra în reacție cu protonii ajunși la catod, iar împreună cu fluxul de electroni, vor genera molecule de apă, întreg procesul fiind unul exoterm. Excesul de aer, căldura și moleculele de apă vor fi evacuate prin intermediul plăcilor conductoare [2, 3, 7].

La momentul actual, există o multitudine de astfel de tipuri de pile de combustibil, diferențiate prin materialele utilizate în structura lor, precum și prin performanțele și temperaturile la care operează:

- ▶ pile de combustibil cu oxizi solizi (Solid Oxide Fuel Cells - SOFCs) – produc energie electrică prin procesul de oxidare directă a combustibililor cu care sunt alimentate. În acest caz, electrolitul este realizat din oxizi solizi sau materiale ceramice [3, 4].
- ▶ pile de combustibil cu metanol (Direct Methanol Fuel Cells - DMFCs) – folosesc ca și combustibil o soluție cu apă și metanol, un compus

chimic mult mai stabil decât hidrogenul, obținerea moleculelor de hidrogen având loc la nivelul pilei de combustibil, prin descompunerea soluției la nivelul anodului [3, 5].

- ▶ pile de combustibil alcaline (Alkaline Fuel Cells - AFCs) – au ca și electrolit o matrice poroasă saturată cu o soluție alcalină apoasă, precum hidroxidul de potasiu. Acest tip de pilă de combustibil necesită alimentare continuă cu oxigen pur, introducând de la sine necesitatea unui circuit separat și a unui rezervor cu oxigen. Această limitare este datorată dioxidului de carbon generat în procesele de reacție, care reacționează cu elementele membranei și reduce în mod semnificativ randamentul stratului electrolitic [3, 6].
- ▶ pile de combustibil cu membrană schimbătoare de protoni (Proton Exchange Membrane Fuel Cells - PEMFCs) – în acest caz, electrolitul este o membrană cu polimeri care limitează trecerea ionilor de hidrogen (protoni) într-un singur sens, dinspre catod spre anod. Trecerea electronilor este forțată printr-un circuit auxiliar la care este conectat un consumator, generând astfel curent electric [2, 3, 7].

Cea mai utilizată topologie de pile de combustibil în domeniul autovehiculelor, este tehnologia PEMFC, activitățile de modelare prezentate în acest capitol tratând acest tip de pilă de combustibil.

## **8.1. Integrarea pilelor de combustibil în sistemele de propulsie ale autovehiculelor electrice**

În cadrul vehiculelor electrice cu pile de combustibil, acestea au rolul unui generator compact de energie electrică, pe care o transferă către o baterie de înaltă tensiune de dimensiuni mult mai mici decât cele regăsite în cadrul autovehiculelor complet electrice. Întreg transferul de energie este realizat prin intermediul unui ansamblu de convertoare și invertoare care formează

împreună subsistemul electronicii de putere. Structura unui autovehicul cu pile de combustibil poate fi observată în figura 8.2 [8, 9].

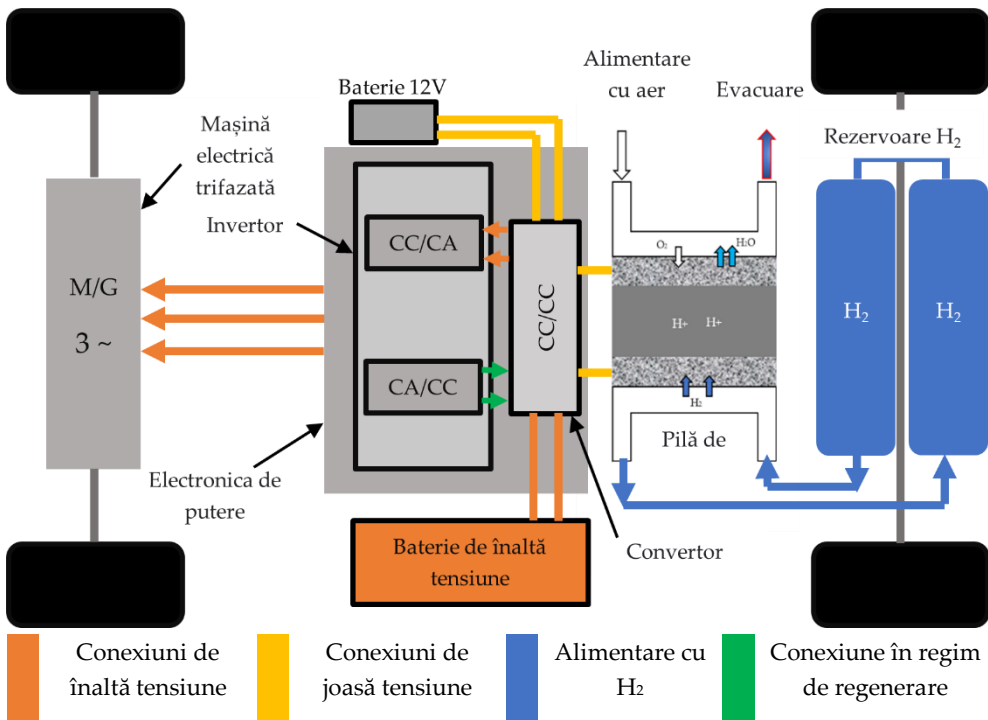


Fig. 8.2 Structura unui autovehicul cu pile de combustibil – adaptare după [9]

Electronica de putere are rolul de a transforma și distribui energia către toate sistemele și subsistemele autovehiculului. Prin intermediul convertorului CC/CC se realizează amplificarea sau reducerea tensiunii, în vederea distribuirii acesteia către alte subsisteme. Aceste transformări sunt realizate prin convertoare de tip Buck (de reducere a tensiunii) sau Boost (de amplificare a tensiunii). Convertoarele au ca elemente principale de control, tranzistori IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors), capabili de a fi controlați extrem de precis prin semnale de modulare a lății impulsului. Invertorul format din convertoare CC/CA și CA/CC au rolul de a livra energia către și dinspre mașina electrică trifazată (motor/generator).

## 8.2. Medii de simulare și modelare – MATLAB/Simulink, AVL Cruise M

Modelare și simularea vehiculelor cu pile de combustibil cu hidrogen este una dintre cele mai importante etape în procesul de dezvoltare al acestora. Utilizarea unor modele precise, poate permite obținerea unor date valoroase cu privire la performanțele sau eficiența energetică a unui astfel de vehicul, introducând astfel noi metode de optimizare și dimensionare a acestora. Activitățile de modelare pot avea loc la mai multe nivele:

### 8.2.1. *Modelarea matematică*

Reprezintă una dintre cele mai comune și accesibile metode de modelare a vehiculelor cu pile de combustibil cu hidrogen. Prin intermediul unui astfel de proces, fiecare funcție a componentelor este implementată în mod iterativ sau recursiv prin intermediul unor ecuații matematice complexe. O astfel de abordare permite stabilirea unor strategii de funcționare (gestiune energetică, gestiune termică, control al sistemului de propulsie) cu dependență față de factori impuși prin variabilele regăsite în ecuații. Aceste metode pot fi augmentate prin implementarea modelelor în medii de simulare cu o putere de procesare semnificativă [7, 10].

### 8.2.2. *Simularea completă a sistemelor*

Este realizată în medii speciale de simulare precum AVL Cruise M, AVL Cruise, GT-Suite. Presupune modelarea matematică și parametrizarea tuturor componentelor unui vehicul cu pile de combustibil (pile de combustibil, baterie de înaltă tensiune, mașină electrică, electronic de putere și alte componente) cu scopul de a obține o privire de ansamblu cu privire la bilanțul energetic și modul în care aceste componente interacționează. Această abordare permite identificarea eventualelor vulnerabilități ale sistemelor și îmbunătățirea acestora [7, 11].

Mediile abordate în acest capitol sunt MATLAB/Simulink și AVL Cruise M. Activitățile de modelare și simulare cuprinse în acest capitol sunt posibile datorită sprijinului acordat de către Mathworks prin licența de program MATLAB/Simulink R2023a și AVL prin licența de program AVL Cruise M R2020.1.

MATLAB/Simulink este un mediu de modelare și simulare bazat pe modelare matematică, oferind posibilitatea analizei sistemelor dinamice la nivel de control, comunicație, procesare de semnale și eficiență energetică. Întregul proces de modelare poate fi realizat în interfața MATLAB prin introducerea unor coduri utilizate pentru modelarea sistemelor/subsistemelor. Simulink oferă o altă perspectivă în ceea ce înseamnă operațiunile de modelare și simulare, fiind un mediu grafic în care sunt cuprinse diverse module ce simulează componente reale. Acestea pot fi interconectate, formând astfel sisteme complexe. Modulele pot reprezenta funcții logice, operații matematice, senzori, actuatori sau chiar componente complete cu posibilitate de parametrizare directă [12, 13]. Indiferent de abordarea aleasă, MATLAB/Simulink permite intervenția asupra modelelor la nivel fundamental, fiecare operație sau funcție fiind deschisă spre modificări, cu scopul de a obține un model cât mai fidel [12, 13].

AVL Cruise M este un program multi-disciplinar, utilizat în dezvoltarea și simularea sistemelor de propulsie precum și a subsistemelor din cadrul diverselor tipuri de vehicule. Totodată, acesta reprezintă un pachet software extrem de utilizat în procesul de integrare și dezvoltare a diverselor soluții de control în cadrul mediilor HiL (Hardware-in-the-Loop). Prin utilizarea acestui program, apare posibilitatea modelării la nivel fizic, dinamic, mecanic, termodinamic și chimic. În cadrul etapelor de modelare și simulare, toate aceste elemente sunt luate în considerare, cu scopul obținerii unor modele cât mai fidele și a validării experimentale a rezultatelor obținute [14].

Ambele programe permit parametrizarea individuală a sistemelor. Modelele pot fi configurate fără limitări structurale și inițializate după preferințele utilizatorului. Pentru a facilita procesele de modelare și simulare, în cazul

ambelor platforme de simulare există baze de date cu exemple configurate, menite să ofere un punct de plecare în procesele de modelare. În cadrul acestui capitol, vor fi utilizate exemple realizate de dezvoltatorii programelor, cu scopul de a ilustra în mod comparativ capacitățile, limitările și diferențele în abordările simulării unor vehicule electrice cu pile de combustibil.

### 8.3. Prezentarea modelelor

În cazul MATLAB/Simulink, a fost accesat modelul cu numele "FCEvReferenceApplication", accesibil din fereastra "Command Window" regăsită în interfața MATLAB, utilizând sintaxa "openExample('autoblks/FCEVReferenceApplicationExample')". Odată rulată această comandă, modelul va fi deschis în mediul Simulink. Structura modelului se poate observa în figura 8.3 [15]. În cazul AVL Cruise M, din biblioteca de exemple, secțiunea "Fuel Cell" a fost ales exemplul cu numele "Fuel\_Cell\_Electric\_Vehicle". Odată deschis fișierul, modelul va fi deschis și complet editabil. Structura modelului este prezentată în figura 8.4 [14].

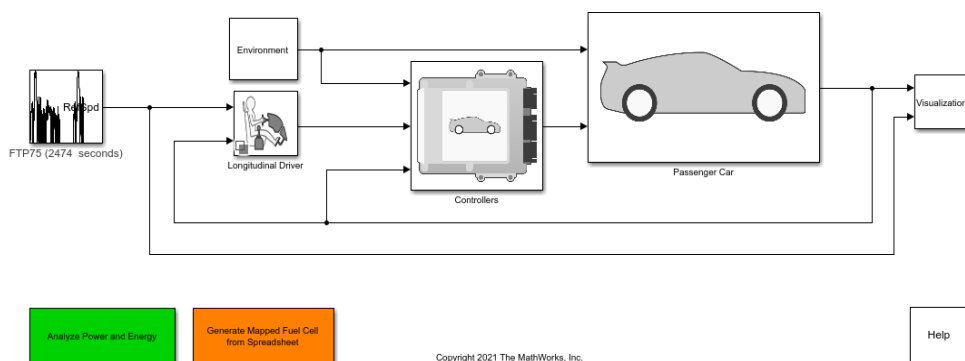
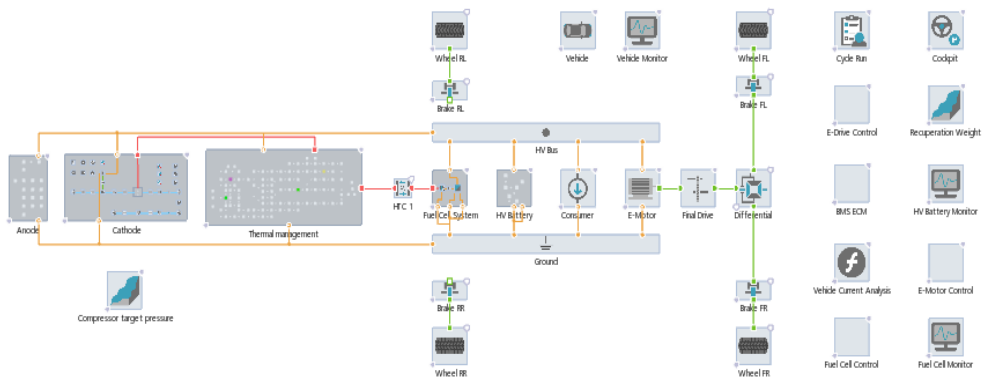


Fig. 8.3 Modelul unui vehicul cu pile de combustibil – MATLAB/Simulink [15, 16]

Modelele sunt o reprezentare a structurii tipice a unui vehicul electric cu pile de combustibil. Abordarea ambelor medii de simulare este similară, componentele fiind grupate în blocuri numite subsisteme. Aceste subsisteme

În funcție de aceste intrări, blocul de comandă va controla momentul dezvoltat de motor, aplicarea frânei, curentul dezvoltat de pilele de combustibil, precum și partea de gestiune termică a pilei de combustibil.



În cazul modelului regăsit în AVL Cruise M, partea de control este fracționată în mai multe subsisteme de control. Fiecare subsistem este responsabil cu controlul anumitor elemente. Modulul „E-Drive Control” are rolul de a gestiona funcționarea mașinii electrice, în timp ce modulul „Fuel Cell Control” are rolul de a gestiona funcționarea pilei de combustibil.

Diferența principală între abordările modelărilor în cazul celor două programe, este evidențiată în construcția și parametrizarea modului pilelor de combustibil. În cazul modelului MATLAB/Simulink, construcția sistemului pilelor de combustibil este complexă, cuprinzând atât instalațiile conexe necesare funcționării pilei de combustibil, cât și o parte de răcire și

management termic. În cazul configurării pilei de combustibil, acest model oferă posibilitatea parametrizării suprafeței celulelor pilei de combustibil, împreună cu numărul de celule de lucru. Grosimea membranei schimbătoare de protoni este și ea configurabilă. Totodată, este posibilă și modelarea straturilor de difuzie a gazelor împreună cu densitatea de generare a curentului. În cadrul acestui model, sunt cuprinse în mod general mai multe opțiuni de parametrizare și configurare. Abordarea celor de la Mathworks este observabilă în figura 8.5. În cazul modelului regăsit în AVL Cruise M, parametrii configurabili sunt similari cu cei regăsiți în modelul prezentat în MATLAB/Simulink și sunt expuși în figura 8.6. Programul AVL Cruise M cuprinde în mod adițional, o funcție auxiliară de generare a unui modul complet de pile de combustibil, după datele de intrare furnizate de utilizator.

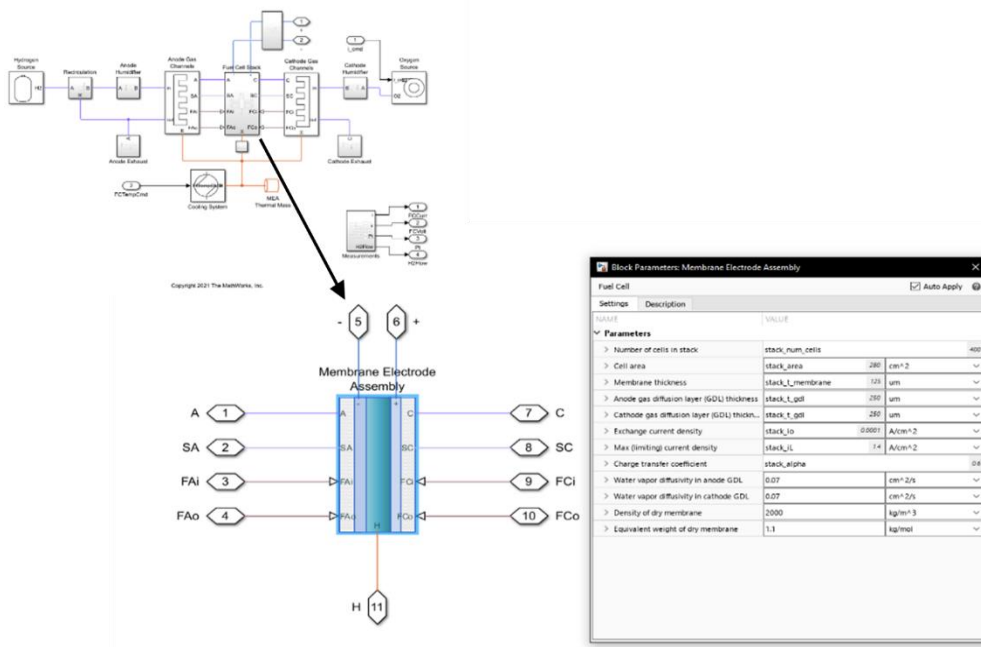
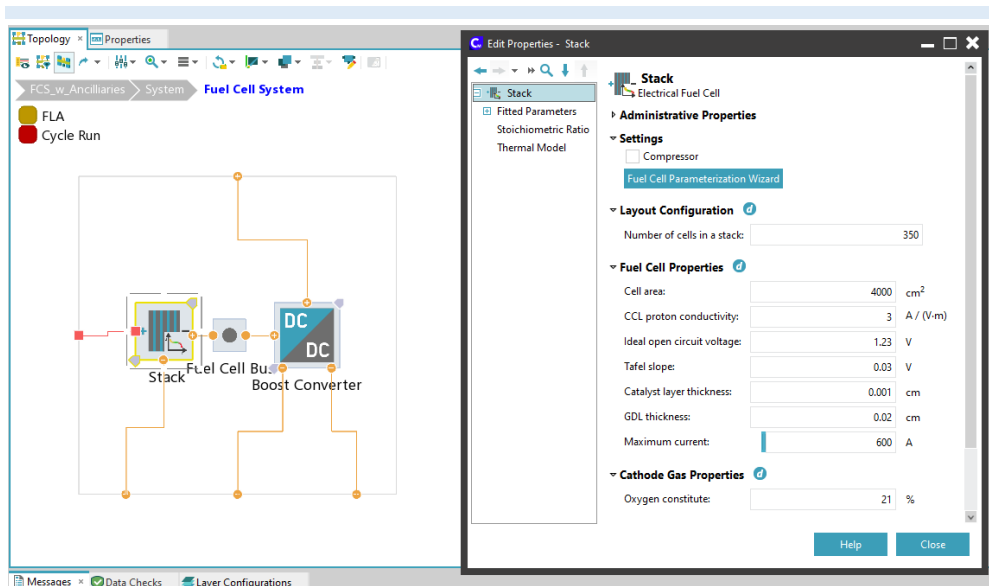


Fig. 8.5 Parametrizarea pilelor de combustibil – MATLAB/Simulink [15, 16]



## METODE DE MODELARE ȘI SIMULARE A VEHICULELOR CU PILE DE COMBUSTIBIL UTILIZÂND MATLAB/SIMULINK ȘI AVL CRUISE M



*Fig. 8.6 Parametrizarea pilelor de combustibil – AVL Cruise M*

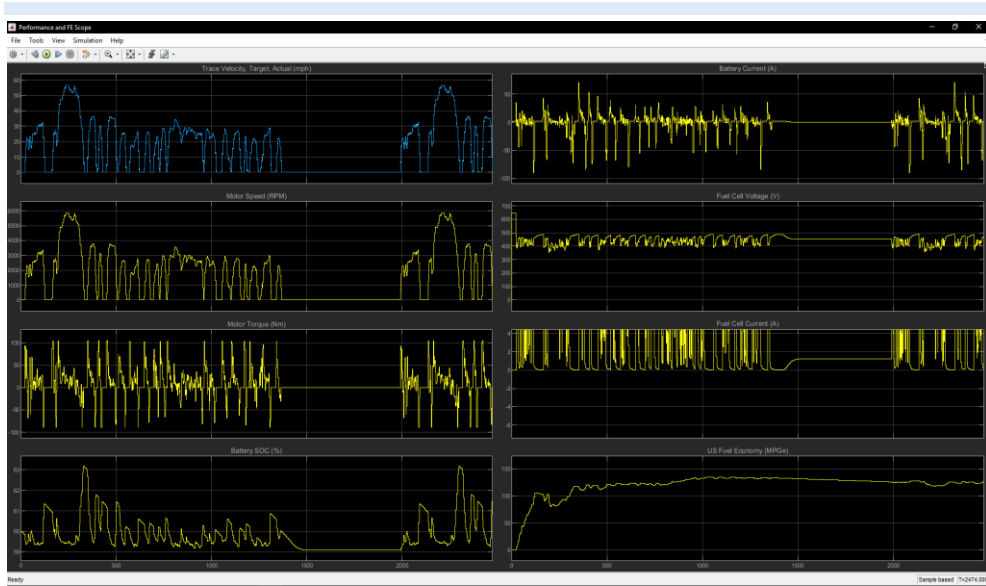
Partea de control în cazul modelului prezentat în AVL Cruise M se realizează prin intermediul unui subsistem dedicat pilelor de combustibil. Legăturile între componente sunt realizate prin intermediul unei funcții speciale numite “Data Bus Editor” care afișează atât intrările cât și ieșirile necesare pentru fiecare modul. Această interfață permite o experiență de utilizare mult mai facilă decât în cazul MATLAB/Simulink.

În cazul modelului expus în MATLAB/Simulink, după realizarea operațiunilor de simulare se va obține o serie de date cu privire la:

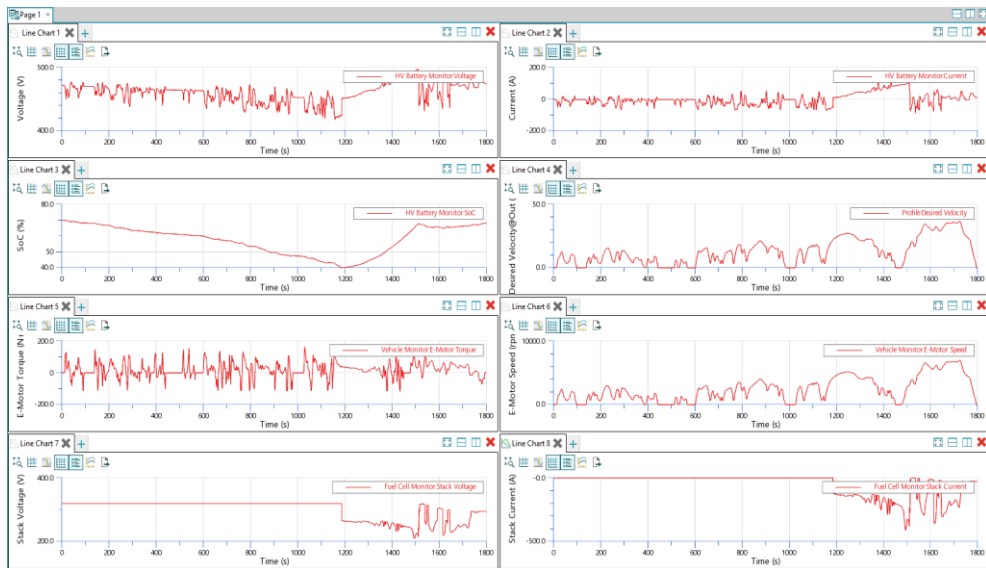
- ▶ ciclul de testare ales – prin intermediul profilului de viteze definit
- ▶ curentul la nivelul bateriei de înaltă tensiune
- ▶ turația mașinii electrice și momentul motor dezvoltat
- ▶ tensiunea și curentul la nivelul pilei de combustibil
- ▶ starea de încărcare a baterii de înaltă tensiune

Datele vor fi afișate prin intermediul modului “Visualization”, accesând blocul “Scope”. Datele vor putea fi vizionate sub formă grafică și se regăsesc în figura 8.7.

## METODE DE MODELARE ȘI SIMULARE A VEHICULELOR CU PILE DE COMBUSTIBIL UTILIZÂND MATLAB/SIMULINK ȘI AVL CRUISE M



*Fig. 8.7 Rezultate obținute – MATLAB/Simulink [15, 16]*



*Fig. 8.8 Rezultate obținute – AVL Cruise M*

În cazul modelului din AVL Cruise M, datele vor putea fi vizualizate în timp real prin intermediul unui panou de instrumente atașat ferestrei de simulare. Totodată, aceste rezultate pot fi accesate printr-un submeniu dedicat "Results". Datele sunt evidențiate în figura 8.8.

În cazul ambelor medii de simulare, afișarea rezultatelor sub formă de grafice, nu este unica metodă. Ambele soluții software dispun de modalități de înregistrare și afișare a datelor sub formă numerică în tabele sau fișiere de date.

## 8.4. Concluzii

Pilele de combustibil reprezintă una dintre tehnologiile emergente în domeniul autovehiculelor la momentul actual. Accelerarea dezvoltării acestor tehnologii reprezintă una dintre cele mai eficiente modalități de a obține soluții de mobilitate sustenabilă. Procesele de modelare și simulare permit obținerea unor concepte optimizate, capabile de a livra în mod eficient energia necesară propulsiei vehiculelor electrice. Modelele expuse în prezentul capitol reprezintă un punct de pornire în ceea ce înseamnă studiul și aprofundarea acestor tehnologii, prin monitorizarea continuă și optimizarea performanțelor generate de modelele complexe construite prin mediile prezentate. Utilizarea unor astfel de programe de simulare elimină necesitatea cunoștințelor în materie de modelare matematică, prin implementarea unor interfețe grafice atractive și ușor de utilizat, reducând considerabil timpul necesar activităților de modelare și simulare. Odată generate astfel de modele, funcționarea lor poate fi validată prin intermediul unor simulări de tip HIL în care pilele de combustibil vor fi regăsite la nivel fizic, iar restul sistemelor vor fi preluate din modelul generat.

## 8.5. Bibliografie

- [1] Olabi, A.G., Wilberforce, T., and Abdelkareem, M.A., "Fuel cell application in the automotive industry and future perspective," *Energy* 214, 2021, doi:10.1016/j.energy.2020.118955.
- [2] Spiegel, C., "PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab," 2008, doi:10.1016/B978-0-12-374259-9.X5001-0.
- [3] Shekhawat, D., Spivey, J.J., and Berry, D.A., eds., "Fuel cells: technologies for fuel processing," Elsevier, ISBN 978-04-44-6384-72, 2011.
- [4] Bove, R., "Solid oxide fuel cells: Principles, designs and state-of-the-art in industries," *Recent Trends in Fuel Cell Science and Technology*, 2007, doi:10.1007/978-0-387-68815-2\_11.
- [5] Arico, A.S., "Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)," *Encyclopedia of Membranes* 568–570, 2016, doi:10.1007/978-3-662-44324-8\_183.
- [6] Ferriday, T.B. and Middleton, P.H., Alkaline fuel cell technology - A review, *Int J Hydrogen Energy* 46(35), 2021, doi:10.1016/j.ijhydene.2021.02.203.
- [7] Fuel Cell Handbook, "Fuel Cell Handbook, Fifth Edition," 2000.
- [8] Xiong, Y., Cheng, X., Shen, Z.J., Mi, C., Wu, H., and Garg, V.K., "Prognostic and warning system for power-electronic modules in electric, hybrid electric, and fuel-cell vehicles," *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(6), 2008, doi:10.1109/TIE.2008.918399.
- [9] Fragiaco, P., Genovese, M., Piraino, F., Corigliano, O., and Lorenzo, G. De, "Hydrogen-Fuel Cell Hybrid Powertrain: Conceptual Layouts and Current Applications," *Machines* 10(12), 2022, doi:10.3390/machines10121121.

- [10] Omran, A., Lucchesi, A., Smith, D., Alaswad, A., Amiri, A., Wilberforce, T., Sodré, J.R., and Olabi, A.G., "Mathematical model of a proton-exchange membrane (PEM) fuel cell," *International Journal of Thermofluids* 11, 2021, doi:10.1016/j.ijft.2021.100110.
- [11] Cipollone, R., Battista, D. Di, Marchionni, M., and Villante, C., "Model based design and optimization of a fuel cell electric vehicle," *Energy Procedia*, 2014, doi:10.1016/j.egypro.2014.01.009.
- [12] \*\*\* MathWorks, "MATLAB," <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, Apr. 2023.
- [13] \*\*\* MathWorks, "Simulink - Simulation and Model-Based Design," <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>, Apr. 2023.
- [14] \*\*\* AVL, "Simulation Solutions," <https://www.avl.com/en/simulation-solutions>, Apr. 2023.
- [15] \*\*\* MathWorks, "FCEV Reference Application," <https://www.mathworks.com/help/autoblks/ug/fuel-cell-electric-vehicle-reference-application.html>, Apr. 2023.

## **9. EVOLUȚIA APLICAȚIILOR MATLAB DESTINATE INGINERIEI AUTOVEHICULELOR**

### **9.1. Generalități**

Dezvoltarea continuă a autovehiculelor a dus la necesitatea adaptării tehnologiilor care utilizează extensiv resursele informatice, o astfel de resursă fiind pachetul software MATLAB.

Ca program de simulare, MATLAB își are originea în EISPACK (Matrix Eigensystem Package) și LINPACK (Linear Equation Package) dezvoltate în 1971-76 cu scopul de a explora metodologia, costurile și resursele necesare producerii de soluții matematice de înaltă calitate pentru anumite domenii problematice. Acestea rula în Fortran și dispuneau de o serie de subrutine, în funcție de precizia dorită. Prima versiune de MATLAB a apărut în 1979-80 ca un calculator matriceal interactiv, la care puteau fi adăugate subrutine. Varianta comercială PC-MATLAB a apărut în 1984 la Conferința IEEE Decision and Control, la care, ulterior, au fost adăugate subrutine de calcul diferențial, tipuri de date, structuri speciale, obiecte, respectiv instrumente (toolboxes) disponibile pentru aplicații specializate [1].

### **9.2. Subiecte de interes în domeniul ingineriei autovehiculelor utilizând MATLAB**

Tendința aplicării resurselor informatice în domeniul autovehiculelor este reliefată și de numărul mare al lucrărilor științifice în domeniul ingineriei autovehiculelor care utilizează componenta software MATLAB sau MATLAB Simulink. În ultimii 20 de ani, MATLAB și Simulink au crescut constant în popularitate, fiind aplicate pe scară largă de cercetătorii și inginerii din domeniul auto la modelarea, simularea și analiza sistemelor autovehiculelor.

Cu toate că MATLAB era folosit în domeniul ingineriei autovehiculelor și în anii 1990 și începutul anilor 2000, utilizarea sa nu era la fel de răspândită ca în prezent. În perioada respectivă, accentul general a fost pus pe dezvoltarea de modele și sisteme de control pentru îmbunătățirea performanței, eficienței și siguranței sistemelor autovehiculelor. Odată cu introducerea MATLAB Desktop în anul 2000, utilizarea pachetului software a devenit mai ușoară, astfel că publicațiilor științifice în care s-a utilizat MATLAB în domeniul ingineriei autovehiculelor s-au diversificat. Pe baza publicațiilor științifice din aceste perioade, s-au identificat ca principale subiecte de cercetare din domeniul ingineriei autovehiculelor următoarele:

1990 – 2000	2000 - 2010
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ controlul și optimizarea motorului cu ardere internă;</li> <li>▶ modelarea și simularea grupului tren de rulare;</li> <li>▶ dinamica vehiculului;</li> <li>▶ proiectarea și optimizarea sistemului de suspensie;</li> <li>▶ modelarea și controlul sistemului de frânare;</li> <li>▶ modelarea și managementul bateriilor pentru vehicule electrice și hibride.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ analiza procesului de ardere și a emisiilor motorului cu ardere internă;</li> <li>▶ optimizarea și controlul grupului tren de rulare;</li> <li>▶ dinamica vehiculului;</li> <li>▶ proiectarea și optimizarea sistemului de suspensie;</li> <li>▶ modelarea și simularea sistemului de frânare;</li> <li>▶ proiectarea și controlul vehiculelor electrice;</li> <li>▶ proiectarea și controlul vehiculelor hibride;</li> <li>▶ modelarea și simularea anvelopelor;</li> <li>▶ modelarea și controlul celulelor de combustibil;</li> <li>▶ analiza și optimizarea aerodinamicii autovehiculelor.</li> </ul>

În anul 2010 au fost lansate MATLAB R2010a și R2010b, care au adus îmbunătățiri semnificative la nivel de compilator (MATLAB Compiler), grafică (interfață cu utilizatorul), calcul paralel, toolbox pentru controlul sistemelor (Control System Toolbox), respectiv au introdus Simulation Data Inspector (utilizat la analiza rezultatelor simulării) și a adăugat ca și pachet

suport pentru modelarea și simularea sistemelor hibride cu SimDriveline, tendințele în domeniul simulării, în ingineria autovehiculelor au fost orientate spre:

- ▶ proiectarea și controlul vehiculelor electrice [2]: modelarea, simularea și controlul componentelor sistemului de propulsie al vehiculelor electrice, cum ar fi motoarele electrice, sisteme de baterii și electronica de putere.
- ▶ conducere autonomă [3]: dezvoltarea și evaluarea sistemelor avansate de asistență a șoferului (ADAS) și a tehnologiilor de conducere autonomă, inclusiv a algoritmilor de percepție, localizare și control.
- ▶ dinamica vehiculului [4]: modelarea, simularea și controlul dinamicii vehiculului, inclusiv sistemul de suspensie, sistemul de direcție și sistemul de frânare.
- ▶ proiectarea și controlul motorului cu ardere internă [5]: proiectarea și optimizarea motoarelor cu ardere internă, precum și pentru controlul sistemelor motorului cu ardere internă, cum ar fi sistemul de alimentare cu combustibil și sistemul de aprindere.
- ▶ modelarea și simularea trenului de rulare [6]: modelarea și simularea diferitelor configurații ale trenului de rulare, începând de la sisteme cu motoare convenționale cu ardere internă, sisteme hibride și vehicule electrice.
- ▶ managementul energiei vehiculelor electrice – ca și domeniu separat de studiu [7]: optimizarea sistemelor de management al energiei vehiculelor, sistemul de management al bateriei, strategiile de control al grupului motopropulsor și sisteme de recuperare a energiei.
- ▶ siguranța și fiabilitatea vehiculului [8]: analiza și optimizarea siguranței și fiabilității vehiculelor, pentru analiza rezistenței la impact, durabilitate și oboseală.



- Emisiile motoarelor cu ardere internă și impactul asupra mediului [9]: modelarea și simularea emisiilor motoarelor cu ardere internă și a impactului asupra mediului, evaluarea combustibililor alternativi și a influenței acestora asupra emisiilor poluante și a strategiilor de control al emisiilor.

Se observă faptul că indiferent de tipul de sistem de propulsie, încă de la început și până în prezent, MATLAB a fost utilizat intens în cercetările privind dinamica vehiculului.

### **9.3. Publicații în domeniul ingineriei autovehiculelor utilizând MATLAB**

Trebuie precizat că domeniul ingineriei autovehiculelor este un domeniu complex, multi- și interdisciplinar, caracterizat de cercetări în domenii conexe: sisteme informatice, informatică / inteligență artificială, metode de teorie a informaticii, combustibili, inginerie (multidisciplinar), știința materialelor multidisciplinar, sisteme de control automatizate, tehnologia științei transporturilor, inginerie mecanică, inginerie electrică și electronică, aplicații interdisciplinare în informatică, fabricație în inginerie, inginerie aerospațială. Pentru a evidenția publicațiile din domeniul ingineriei autovehiculelor care au utilizat MATLAB ca software de simulare, s-a accesat Web of Science și s-au efectuat căutări după cuvinte cheie precum MATLAB și „automotive engineering” (ingineria autovehiculelor). În figura 9.1 s-a evidențiat numărul de publicații și domenii conexe cu aplicații în ingineria autovehiculelor unde au fost publicate articolele în perioada 1997-2004. Figura 9.2 prezintă numărul de publicații pentru perioada 2005-2013, iar figura 9.3 prezintă numărul de publicații pentru perioada 2014-2022. Se poate observa faptul că, pentru cuvintele cheie căutate, numărul de publicații a crescut de la 8-9 articole pe domeniu în perioada 1997-2004, la 60-80 publicații în perioada 2005-2013, respectiv la 190-200 în perioada 2014-2022. Domeniile principale de publicare conexe ingineriei autovehiculelor sunt concentrate în zona de inginerie mecanică și

electrică, transporturi, automatizare. După 2005 a apărut și domeniul inteligenței artificiale (IA), cu toate că MATLAB include un pachet (îmbunătățit și extins continuu) de simulare de rețelele neuronale de la mijlocul anilor 1990. În plus, MATLAB a susținut de mulți ani tehnicile legate de IA, cum ar fi învățarea automată, viziune computerizată și procesarea limbajului. În ultimii ani, MATLAB a introdus funcții și instrumente suplimentare care vizează în mod special sprijinirea fluxurilor de lucru cu IA și de învățare automată, cum ar fi Deep Learning Toolbox, Reinforcement Learning Toolbox și Automated Driving Toolbox. Aceste instrumente oferă utilizatorilor o gamă largă de funcții și fluxuri de lucru pentru dezvoltarea și implementarea aplicațiilor bazate pe inteligență artificială.

### Perioada 1997-2004

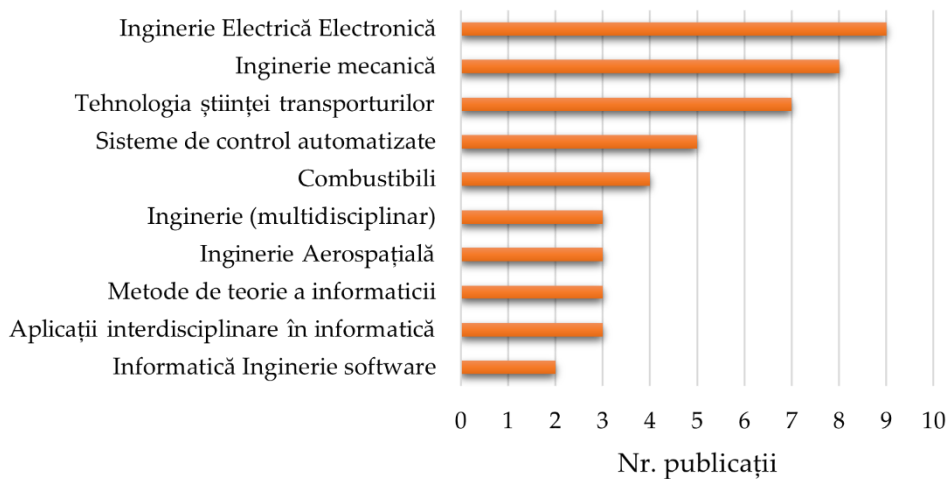


Fig. 9.1 Numărul de publicații și domenii conexe cu aplicații în ingineria autovehiculelor, pentru perioada 1997-2004

### Perioada 2005-2013

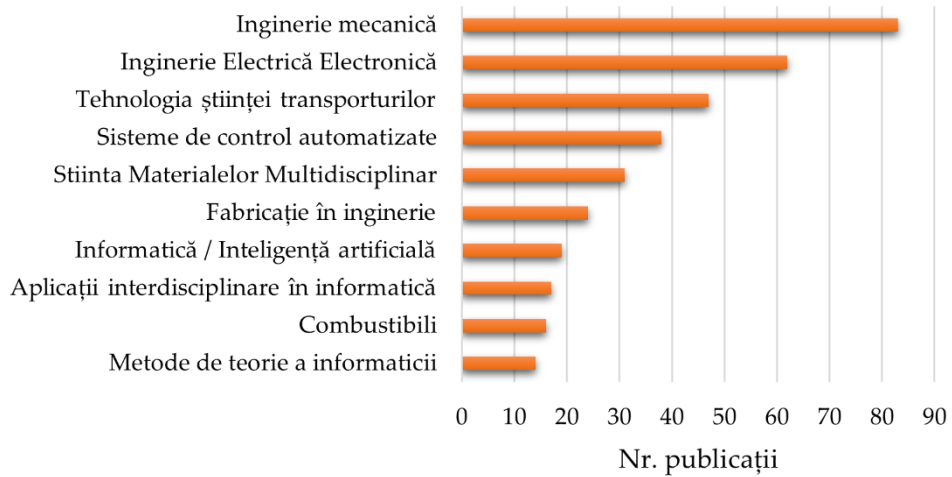


Fig. 9.2 Numărul de publicații și domenii conexe cu aplicații în ingineria autovehiculelor, pentru perioada 2005-2013

### Perioada 2014-2022

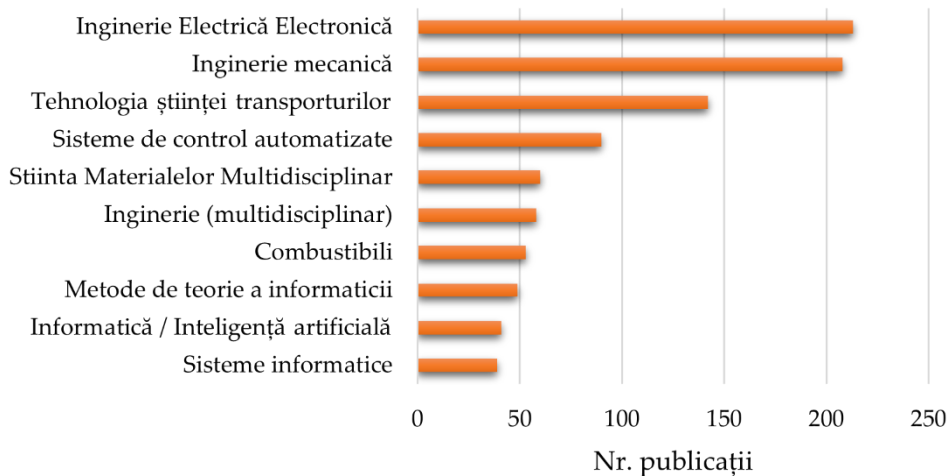


Fig. 9.3 Numărul de publicații și domenii conexe cu aplicații în ingineria autovehiculelor, pentru perioada 2014-2022

## **9.4. Modul de utilizare a programului software MATLAB în ingineria autovehiculelor**

În continuare, pentru a evidenția modul de utilizare a pachetului software, s-au ales lucrări citate din perioada 1998-2023 și s-a analizat sistematic modul în care a fost utilizat MATLAB.

În 1998, Le Marrec ș.a. [10] au publicat lucrarea "Hardware, Software and Mechanical Cosimulation for Automotive Applications" în care se prezintă o metodă de co-simulare care permite modelarea și simularea sistemelor complexe care implică atât componente mecanice, electrice și software încorporat. Autorii descriu modul în care abordarea prin co-simulare poate fi implementată folosind MATLAB/Simulink și alte instrumente și oferă un studiu de caz pentru a demonstra eficiența abordării într-o aplicație reală. S-a subliniat de asemenea importanța co-simulării în dezvoltarea sistemelor autovehiculelor, în special în fazele timpurii de proiectare, când mulți parametri sunt necunoscuți, permițând astfel evaluarea comportamentului sistemului în diferite condiții. De asemenea, co-simularea ajută la identificarea potențialelor defecte de proiectare și la îmbunătățirea performanței sistemului.

Baracos ș.a. [11] au scos în evidență dezvoltarea unui sistem de simulare hardware-in-the-loop (HIL) bazat pe PC pentru aplicații auto. Simularea HIL este și la ora actuală o tehnică populară pentru testarea și validarea sistemelor de control în industria autovehiculelor, deoarece permite testarea într-un mediu controlat fără a risca deteriorarea vehiculului real sau a componentelor acestuia. În cazul lucrării analizate s-a prezentat o abordare bazată pe MATLAB/Simulink pentru simularea HIL, în care inginerul nu este nevoit să scrie linii de cod și care utilizează un PC de înaltă performanță ca simulator în timp real, respectiv o placă de interfață pentru a comunica cu sistemul fizic. Scopul principal a fost de a demonstra faptul că MATLAB poate fi utilizat pentru un sistem format dintr-un controller virtual și un sistem controlat real, dar și invers, unde sistemul este virtual și controllerul este real.

Hong ș.a. [12] prezintă o abordare de simulare dinamică pentru acționarea motoarelor fără perii DC (BLDC), luând în considerare comutația de fază pentru aplicațiile din domeniul ingineriei autovehiculelor. Motoarele BLDC sunt utilizate pe scară largă în ingineria autovehiculelor datorită eficienței ridicate, a fiabilității și a cerințelor reduse de întreținere. În primă etapă, lucrarea subliniază importanța simulării dinamice pentru analiza și proiectarea acționărilor cu motor BLDC în aplicațiile auto, pentru ca ulterior să introducă o abordare bazată pe MATLAB/Simulink pentru simularea dinamică a acționărilor de motoare BLDC, ținând cont de efectele comutației de fază (cum ar fi variația momentului produs și variația turației) asupra performanței motorului. Lucrarea include de asemenea o comparație între rezultatele simulării și măsurătorile experimentale, demonstrând acuratețea și eficacitatea abordării de simulare dinamică cu MATLAB pentru acționările cu motor BLDC în aplicațiile auto.

În lucrarea elaborată de Marie-Francoise ș.a. [13] s-a utilizat MATLAB pentru a crea un model de simulare al rețelei de putere propuse, care include baterie, supercapacitor și componente electronice de putere, cum ar fi un convertor DC-DC și un convertor bidirecțional. Autorii utilizează modelul de simulare pentru a investiga performanța sistemului în diferite condiții de funcționare și pentru a optimiza parametrii de proiectare pentru o eficiență maximă. În acest scop, s-a creat modelul de control al tensiunii în MATLAB iar rezultatele obținute din simulare au fost comparate cu cele obținute din experimentul realizat pe bateria acid-plumb și supercapacitor. Pentru a estima parametrii modelelor de baterie și supercapacitor utilizate în simulare s-a utilizat MATLAB.

Lucrarea realizată de Kliemann ș.a. [14] prezintă o abordare personalizată pentru managementul variabilității în aplicațiile auto. Managementul variabilității este procesul de gestionare a variațiilor și diferențelor care există între diferitele versiuni ale unui produs, cum ar fi orice subsistem al autovehiculului. Pentru modelare și simulare, mai precis dezvoltarea unei arhitecturi de referință pentru sistemul auto și crearea unui model de variabilitate care surprinde diferențele dintre diferitele versiuni ale

sistemului se utilizează MATLAB și Simulink. De asemenea, se prezintă un studiu de caz care demonstrează eficacitatea abordării personalizate pentru managementul variabilității.

În 2011, Tashakori ș.a. [15] au prezentat o soluție de implementare a unui model de simulare pentru un motor electric fără perii (brushless) de curent continuu (BLDC) cu forță electromotoare ideală (ideal back-EMF). Lucrarea propune o nouă abordare pentru modelarea forței electromotoare a motorului, care este parametrul principal care determină performanța motorului. Modelul a fost dezvoltat folosind MATLAB/Simulink și testat folosind un prototip de motor. Rezultatele testelor de simulare și experimentale au arătat o concordanță bună, ceea ce evidențiază performanța modelului propus.

Jugulkar ș.a. [16] au prezentat o analiză a unui sistem de suspensie cu rigiditate și forță de amortizare variabile pentru aplicații auto. Analiza se bazează pe utilizarea software-ului MATLAB și Simulink și include dezvoltarea unui model matematic, simulări și analiza performanței sistemului în diferite condiții de operare, cum ar fi drumuri netede, drumuri accidentate și gropi. Rezultatele simulării arată că soluția propusă oferă un confort de rulare și o performanță de manevrabilitate mai bune decât sistemele tradiționale de suspensie.

Fotouhi ș.a. [17] au creat o interfață grafică cu utilizatorul (GUI) MATLAB pentru proiectarea și simularea bateriilor care să poată fi utilizată pentru a prezice performanțele bateriilor litiu-ion în diferite condiții de funcționare. Interfața grafică preia informații din datele de testare a celulelor, care sunt date de intrare pentru modulul de caracterizare a celulei, modulul de model de celule, modulul de model termic și produce rezultate pentru simularea autovehiculului în mediu real. În acest caz, s-a utilizat un Nissan Leaf care controlat de un controller PI pe ciclul de testare NEDC.

În lucrarea elaborată de Pang ș.a. [18] se prezintă o strategie de control pentru motoarele electrice sincrone cu excitație electrică (EESM) utilizate în aplicațiile auto. Modelul dezvoltat în MATLAB/Simulink, ia în considerare saturația magnetică și dinamica legăturii fluxului, pentru a simula

performanța sistemului în diferite condiții de operare. Rezultatele au demonstrat că abordarea de control propusă este robustă și eficientă în estimarea poziției rotorului și controlul în diferite condiții de funcționare, fiind comparat de asemenea cu rezultate reale măsurate la schimbarea momentului cu 100 Nm la diferite turații (menținute constant).

Sistemele dezvoltate cu ajutorul MATLAB pot fi de o complexitate redusă, precum un vehicul electric simplu controlat prin intermediul unui controller PID care urmărește un profil de viteză impus (fig. 9.4) (model format din blocuri precum dinamica vehiculului, funcția de transfer a motorului electric și controller) la modele extrem de complexe cum ar fi implementarea a 78 ecuații pentru a simula funcționarea unui generator termoelectric (fig. 9.5) utilizat la recuperarea energiei termice de pe evacuarea unui vehicul de mare tonaj care circulă cu viteze de diferite și la diferite temperaturi ambientale, pentru a evidenția cantitatea de energie recuperată și influența vitezei de deplasare și a temperaturii ambientale asupra acesteia.

Complexitatea sistemelor implementate este dată de precizia dorită pentru datele de ieșire, factorii de influență luați în considerare, aproximări etc. La dezvoltarea acestor modele se are în vedere o optimizare între precizia datelor de ieșire și timpul de simulare.

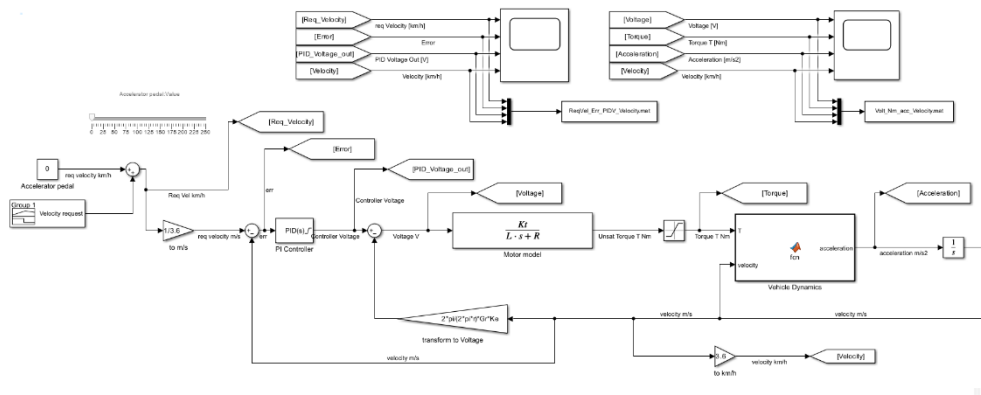


Fig. 9.4 Implementare în MATLAB a unui model simplu de vehicul electric



Fig. 9.5 Implementare în MATLAB a unui model complex de generator termoelectric

## 9.5. Concluzii

În timp, programul software MATLAB a făcut tranziția de la o utilizare preponderent pentru simularea prin intermediul subrutinelor de calcul a senzorilor, modalităților de control pentru subsistemele autovehiculelor, optimizări structurale și simularea proceselor din motoare la aplicații mult mai complexe (facilitate de introducerea de instrumente specializate) care includ interfațare hardware-software, testare software și dezvoltare pe bază de model.

Din lucrările evidențiate anterior tendințele actuale de utilizare a MATLAB vizează implementarea AUTOSAR, inteligența artificială aplicată în conducerea autonomă, aplicații de trafic, celule de combustibil și interfațarea cu mediul virtual. Totodată, în domeniul ingineriei autovehiculelor, se poate observa o tendință generală de a utiliza MATLAB în scopul rezolvării problemelor de calcul cu o complexitate sporită. Nu în ultimul rând, pentru a reduce efortul depus de utilizator, pentru a crește utilitatea aplicației, respectiv pentru a acoperi aplicațiile de interes din domeniul ingineriei autovehiculelor programul software MATLAB este în permanență completat cu pachete specializate.



## 9.6. Bibliografie

- [1] \*\*\* MathWorks, "A Brief History of MATLAB," <https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/a-brief-history-of-matlab.html>, Apr. 2023.
- [2] Jankovic, F., Scekcic, L., and Mujovic, S., "Matlab/Simulink Based Energy Consumption Prediction of Electric Vehicles," Proceedings of 2021 21st International Symposium on Power Electronics, Ee 2021, 2021, doi:10.1109/Ee53374.2021.9628314.
- [3] Zhang, Y. and Cassandras, C.G., An impact study of integrating connected automated vehicles with conventional traffic, *Annu Rev Control* 48, 2019, doi:10.1016/j.arcontrol.2019.04.009.
- [4] Boada, M.J.L., Babé, A.G., Boada, B.L., and López, V.D., "AUTOMATH: MATLAB-based educational software for vehicle's performance and longitudinal dynamics," *Computer Applications in Engineering Education* 15(1), 2007, doi:10.1002/cae.20095.
- [5] ElBahloul, M.A., Aziz, El.S., and Chassapis, C., "Performance study of the hypocycloid gear mechanism for internal combustion engine applications," *International Journal of Engine Research* 22(4), 2021, doi:10.1177/1468087419893583.
- [6] Zhao, S., Guo, R., Xu, L., and Guo, X., "Modeling and simulation of the automatic transmission assembly using Matlab/Simulink," *Applied Mechanics and Materials*, 2013, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.291-294.2287.
- [7] Aouzellag, H., Ghedamsi, K., and Aouzellag, D., Energy management and fault tolerant control strategies for fuel cell/ultra-capacitor hybrid electric vehicles to enhance autonomy, efficiency and life time of the fuel cell system, *Int J Hydrogen Energy* 40(22), 2015, doi:10.1016/j.ijhydene.2015.03.132.

- 
- [8] Liu, Y., Wang, J., Chen, C., Xu, Q., and Li, L., "Vehicle safety analysis at non-signalised intersections at different penetration rates of collision warning systems," *IET Intelligent Transport Systems* 14(13), 2020, doi:10.1049/iet-its.2019.0505.
  - [9] Wei, S., Song, Z., Wu, C., and Qu, X., "Study of dual closed-loop control strategy of exhaust gas recirculation for diesel engines," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* 41(11), 2019, doi:10.1080/15567036.2018.1548516.
  - [10] Marrec, P. Le, Valderrama, C.A., Hessel, F., Jerraya, A.A., Attia, M., and Cayrol, O., "Hardware, software and mechanical cosimulation for automotive applications," *Proceedings of the International Workshop on Rapid System Prototyping* 202–206, 1998, doi:10.1109/IWRSP.1998.676692.
  - [11] Baracos, P., Murere, G., Rabbath, C.A., and Jin, W., "Enabling PC-based HIL simulation for automotive applications," *IEMDC 2001 - IEEE International Electric Machines and Drives Conference*, 2001, doi:10.1109/IEMDC.2001.939394.
  - [12] Hong, W., Lee, W., and Lee, B.K., "Dynamic simulation of brushless DC motor drives considering phase commutation for automotive applications," *Proceedings of IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2007*, 2007, doi:10.1109/IEMDC.2007.383630.
  - [13] Marie-Francoise, J.N., Gualous, H., Outbib, R., and Berthon, A., "42 V Power Net with supercapacitor and battery for automotive applications," *J Power Sources* 143(1–2), 2005, doi:10.1016/j.jpowsour.2004.12.011.
  - [14] Kliemannel, F., Rock, G., and Mann, S., "A Custom Approach for Variability Management in Automotive Applications," Apr. 2023.
  - [15] Tashakori, A., Ektesabi, M., and Hosseinzadeh, N., "Modeling of BLDC motor with ideal back-EMF for automotive applications," *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011*, 2011.

- 
- [16] Jugulkar, L.M., Singh, S., and Sawant, S.M., "Analysis of suspension with variable stiffness and variable damping force for automotive applications," *Advances in Mechanical Engineering* 8(5), 2016, doi:10.1177/1687814016648638.
- [17] Fotouhi, A., Shateri, N., Auger, D.J., Purkayastha, R., Wild, M., Propp, K., and Longo, S., "A MATLAB Graphical User Interface for Battery Design and Simulation," *International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design (SMACD 2016)*, 2016.
- [18] Pang, Y., Knezevic, J., Glose, D., and Hackl, C., "Sensorless Control of Electrically Excited Synchronous Machines Considering Magnetic Saturation and Flux Linkage Dynamics for Automotive Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2023, doi:10.1109/TIE.2023.3245202.

## 10. TENDINȚE TEHNOLOGICE ÎN DOMENIUL SIGURANȚEI AUTOVEHICULELOR

Pornind de la modelul de dependență multifactorială în sistemul circulației rutiere (fig. 10.1), noile tehnologii de dezvoltare a autovehiculelor pornesc de la politicile publice bazate pe dovezi din sfera stadiului actual al siguranței circulației și țintele asumate în vederea sporirii acesteia, respectiv cadrul legal adoptat la nivelul fiecărei țări. Preocuparea constructorilor de autovehicule de îmbunătățire a siguranței active și pasive a acestora se reflectă inclusiv în dezvoltarea interacțiunii dintre autovehicul și om, în încercarea de a elimina factorii subiectivi ce pot afecta siguranța circulației.

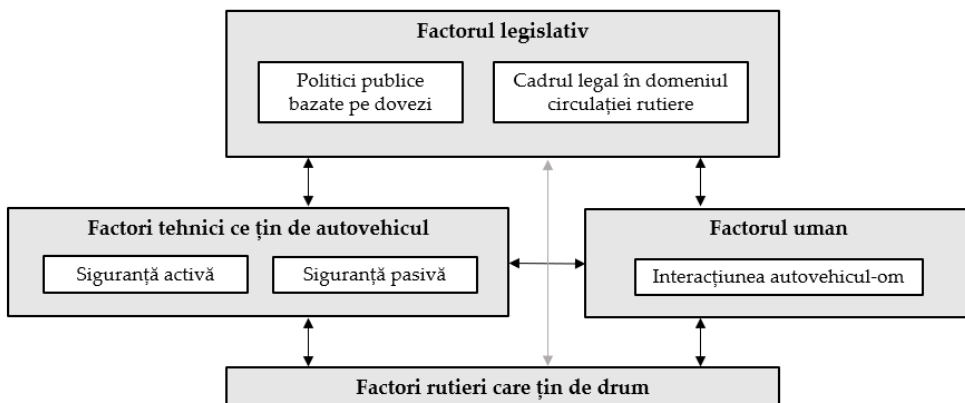


Fig. 10.1 Modelul de dependență multifactorială în sistemul circulației rutiere [1]

O atenție deosebită este acordată îmbunătățirii siguranței circulației atât la nivel global cât și la nivel european, unde accidentele de circulație rutieră reprezintă una dintre principalele cauze ale deceselor [2]. Statele membre ale Uniunii Europene și-au asumat monitorizarea unor parametri ce caracterizează siguranța circulației (parametri referitori la infrastructura rutieră, construcția autovehiculelor, cadrul legislativ ce vizează circulația pe drumurile publice, comportamentul utilizatorilor de autovehicule, respectiv capacitatea de intervenție și îngrijiri medicale acordate post-evenimente

rutiere), prin aderarea la „Viziunea zero” propusă de Comisia Europeană, ce are ca deziderat reducerea totală a deceselor și rănilor cauzate de accidente rutiere până în 2050 [3]. Strategia de mobilitate a Uniunii Europene 2021-2030 are ca țintă asumată reducerea la 50% a deceselor și vătămarilor grave cauzate de accidentele de circulație rutieră, raportat la valorile de referință de la nivelul anului 2020 [4], ținta fiind astfel aliniată asumărilor de la nivel internațional propuse de Organizația Mondială a Sănătății prin cea de a 3-a Conferință Ministerială Globală pentru Siguranța Circulației [5]. Din perspectiva construcției autovehiculelor, se remarcă necesitatea dezvoltării sistemelor care previn sau limitează efectele producerii unui accident de circulație rutieră, în vederea reducerii numărului de decese și a rănilor în astfel de cazuri. Mai mult, la nivel european sunt luate în considerare posibilități de dotare a flotelor de autovehicule deja aflate în circulație, în special autobuze sau autocamioane, cu sisteme actuale ce au rolul de a îmbunătăți siguranța activă [4].

În ceea ce privește testarea noilor autovehicule, Euro NCAP propune înglobarea în protocoalele de testare a patru faze distincte ale evenimentelor rutiere: conducerea preventivă, prevenirea coliziunii, protecția în cazul impactului și siguranța post-coliziune [6], aderând astfel la „Viziunea Zero” a Comisiei Europene. Totodată, este important de luat în considerare tendința de sporire a autonomiei autovehiculelor, care presupune actualizarea rețelelor software ce echipează sisteme vitale pentru siguranța circulației și măsura în care rezultatele obținute în testele experimentale vor fi relevante atunci când aceste autovehicule vor fi puse în circulație [7]. Importanța deosebită a mijloacelor de siguranță activă – ABS (*Antilock Braking System*), ESC (*Electronic Stability Control*), AEB/AES (*Advanced Emergency Braking and Steering*), *Intelligent Speed Assistance*, respectiv *Lane Departure Warning* etc. și a celor de siguranță pasivă – centuri de siguranță, airbag-uri și elementele structurale ale autovehiculului etc., care echipează autovehiculele, este recunoscută pentru rolul acestora în reducerea riscului de producere a accidentelor rutiere, respectiv în limitarea pagubelor produse de aceste evenimente [4].

## 10.1. Siguranța activă a autovehiculelor

### 10.1.1. Conducere preventivă

Unul dintre pilonii siguranței conferite de autovehicule se referă la prevenirea anumitor manevre ale conducătorului auto, respectiv la prevenirea diferitor stări în care se află acesta – stări care ar putea cauza producerea unei coliziuni. În acest sens, au fost dezvoltate sistemele de monitorizare a conducătorului auto și a celorlalți ocupanți ai autovehiculului. Aceste sisteme, pe lângă anumite funcții de bază (spre exemplu, depistarea prezenței pe scaun a ocupanților în vederea activării atenționării pentru cuplarea centurii de siguranță sau a activării airbag-ului) [8], sunt în prezent dezvoltate în vederea anticipării anumitor manevre sau acțiuni care ar putea conduce la producerea unui eveniment rutier. Anticiparea manevrelor efectuate de conducătorul auto se realizează prin preluarea informațiilor vizuale, atât din interiorul habitaculului, cât și din exteriorul autovehiculului, prin analiza factorilor externi și identificarea de tipare care pot conduce la anumite acțiuni în timpul conducerii autovehiculului [9].

Astfel, pe lângă funcțiile de atenționare a conducătorului auto în diferite situații din traficul rutier, aceste sisteme au capacitatea și posibilitatea de acționare în cazul unui pericol iminent. Spre exemplu, prin controlul activ al sistemului de direcție, este posibilă ajustarea unghiului de rotație al volanului în cazul depășirii liniei de demarcare a benzii de deplasare fără acționarea prealabilă a semnalizării [10]. De asemenea, sistemele de frânare automată intervin în vederea evitării coliziunilor față-spate prin acționarea fină a pedalei de frână și atenționarea conducătorului auto, respectiv asistarea acestuia în perioada de reacție (frânarea efectivă) în vederea reducerii vitezei, pe baza decelerației necesare pentru evitarea coliziunii [11].

### 10.1.2. Asistarea conducătorului auto

Asistarea conducătorului auto în timpul deplasării se referă la monitorizarea sau realizarea unor acțiuni prin intermediul sistemelor asistate care echipează autovehiculele și care au rolul de a contribui la îmbunătățirea siguranței circulației rutiere. Spre exemplu, controlul vitezei autovehiculului, prin sistemele de tip *Speed Assistance* sau *Adaptive Cruise Control*, au devenit obligatorii pentru toate modelele noi de autovehicule introduse pe piața din Europa începând cu luna iulie 2022, iar până în anul 2024 vor trebui să fie prezente în toate vehiculele produse [12]. Din perspectiva testării siguranței autovehiculelor, Euro NCAP evaluează sistemele de control al vitezei prin [13]:

- ▶ capacitatea de a informa conducătorul auto cu privire la limita maximă de viteză impusă pe tronsonul de drum;
- ▶ avertizarea conducătorului auto la depășirea valorii vitezei limită stabilite;
- ▶ prevenirea activă a depășirii limitei maxime de viteză, respectiv menținerea autovehiculului la o viteză constantă de deplasare.

În același timp, cu ajutorul informațiilor preluate de la sistemele ABS sau AES (*Automatic Emergency Steering*), se poate realiza un control adaptiv al vitezei de deplasare în funcție de caracteristicile căii de rulare, înclinarea drumului sau denivelările acestuia [14].

Printre cele mai complexe sisteme de siguranță activă se regăsesc cele care vizează controlul sistemului de direcție de tipul AES [13]. Aceste sisteme s-au arătat a fi eficiente în reducerea efectelor accidentelor rutiere care apar în situația schimbării benzii de circulație, întrucât înglobează funcția de atenționare a conducătorului auto în momentul schimbării benzii, respectiv compensează prin monitorizarea punctelor moarte [15].

În vederea protejării participanților vulnerabili la trafic [16], dar și a ocupanților autovehiculelor în cazul coliziunilor față-spate [17], s-au dezvoltat sistemele de frânare automată, generic cunoscute ca AEB, ce presupun acționarea pedalei de frână în cazul unui pericol iminent. Astfel,

este redus timpul de frânare prin reducerea timpului de percepție-reacție a conducătorului auto, ce variază în funcție de starea și nivelul de atenție al acestuia [18].

Nu în ultimul rând, sunt luate în considerare și accidentele de circulație care survin în urma apăsării involuntare a unei pedale – spre exemplu, cea de accelerație în locul celei de frână – din neatenția conducătorului auto. În general, aceste evenimente produc pagube materiale sau leziuni minore datorită vitezelor mici de deplasare. Astfel, sistemele de prevenție acționează în vederea frânării automate a autovehiculului în vederea corecției erorii conducătorului auto [19].

## 10.2. Siguranța pasivă a autovehiculelor

Siguranța conferită ocupanților autovehiculelor, respectiv participanților vulnerabili la trafic (pietoni, cicliști, motocicliști sau utilizatori de mijloace de micromobilitate) în cazul unei coliziuni reprezintă o preocupare continuă a constructorilor de autovehicule și a factorului legislativ. Siguranța pasivă a autovehiculelor este dată de [20]:

- ▶ centuri de siguranță pretensionate, cu rol de reținere a ocupanților în scaun;
- ▶ airbag-uri amplasate în zonele critice ale habitaculului;
- ▶ proiectarea zonelor susceptibile impactului în vederea absorbției energiei cinetice de impact.

De asemenea, producătorii de sisteme de siguranță promovează protecția participanților vulnerabili la trafic prin introducerea unor sisteme menite să limiteze vătămările acestora – spre exemplu, ridicarea capotei autovehiculului în momentul impactului [21] sau amplasarea unor airbag-uri exterioare în partea frontală a autovehiculului [22].

Tot în contextul protejării participanților vulnerabili la trafic, constructorii de autovehicule dezvoltă constant forma unor elemente precum capota sau



bara de protecție frontală a autovehiculului, în vederea limitării vătămarilor produse în zona capului, toracelui și extremităților [23].

În vederea evaluării potențialului de rănire al ocupanților autovehiculului și participanților vulnerabili la trafic în cazul unei coliziuni, se utilizează dispozitivele antropometrice de testare. Rolul acestora este de a prelua informații cu privire la forțele și accelerațiile care acționează asupra diverselor zone ale corpului uman în cazul unor coliziuni ale autovehiculelor, cu ajutorul traductoarelor de accelerație și forță și a materialelor din care sunt confecționate, în vederea creșterii acurateții măsurătorilor efectuate, permițând aprecierea gradului de vătămare. Corelarea rezultatelor obținute în urma testelor experimentale cu riscul de rănire al ocupanților în cazul unui accident rutier se realizează prin modelarea numerică a datelor obținute și compararea acestora cu o serie de date de referință provenite, spre exemplu, din accidente cu leziuni reduse, sau din testarea proprietăților fizice ale țesutului uman [24]. Tendințele actuale de dezvoltare ale acestor dispozitive antropometrice presupun inclusiv posibilități de simulare a schimbărilor de postură și încordarea mușchilor în situații de pericol iminent – reacții care pot influența tipul și gradul de rănire –, respectiv o reprezentare cât mai fidelă a oaselor, organelor și mușchilor din corpul uman [27, 28].

Astfel, preocupările în direcția creșterii acurateții dispozitivelor antropometrice de testare contribuie la îmbunătățirea sistemelor de siguranță pasivă în diferite scenarii de coliziuni, inclusiv prin asigurarea unei variații a ocupanților în funcție de gen, vârstă sau vulnerabilități date de postura în care aceștia se află.

### **10.3. Siguranța post-coliziune**

Momentele de după coliziune au un puternic impact asupra stării de vătămare a ocupanților autovehiculului sau altor participanți la trafic, motiv pentru care este importantă intervenția salvatorilor în timp util și într-un mod care să nu agraveze leziunile deja produse. În acest sens, sunt extrem

de importante durata de localizare și răspuns a echipelor de intervenție și, în egală măsură, informațiile puse la dispoziție de către constructorii de autovehicule în vederea facilitării descarcerării [27].

În vederea reducerii duratei de localizare și intervenție a echipajelor de salvare, au fost dezvoltate sisteme de apelare automată a serviciului de urgență, iar echiparea noilor autovehicule cu astfel de sisteme este obligatorie în majoritatea țărilor [28]. Pentru asigurarea unei intervenții prompte a echipajelor de salvare, sunt propuse soluții de prioritizare a apelurilor având legătură cu accidente de trafic rutier, prin implementarea unor algoritmi de inteligență artificială de către dispeceratele de urgență [29].

## 10.4. Concluzii

Creșterea siguranței rutiere reprezintă o prioritate la nivel mondial și european, iar evoluția acesteia depinde nemijlocit de colaborarea dintre factorii decizionali, instituțiile acreditate pentru testarea și omologarea autovehiculelor, respectiv constructorii de autovehicule. Noile tehnologii sunt menite să răspundă necesității societății în permanentă schimbare, inclusiv din punctul de vedere al mobilității. Astfel, ansamblul de sisteme și proceduri menite să sporească siguranța autovehiculelor trebuie să se alinieze noilor tendințe de răspândire accelerată a mobilității autonome și micromobilității, atât în marile aglomerări urbane, cât și în afara acestora.

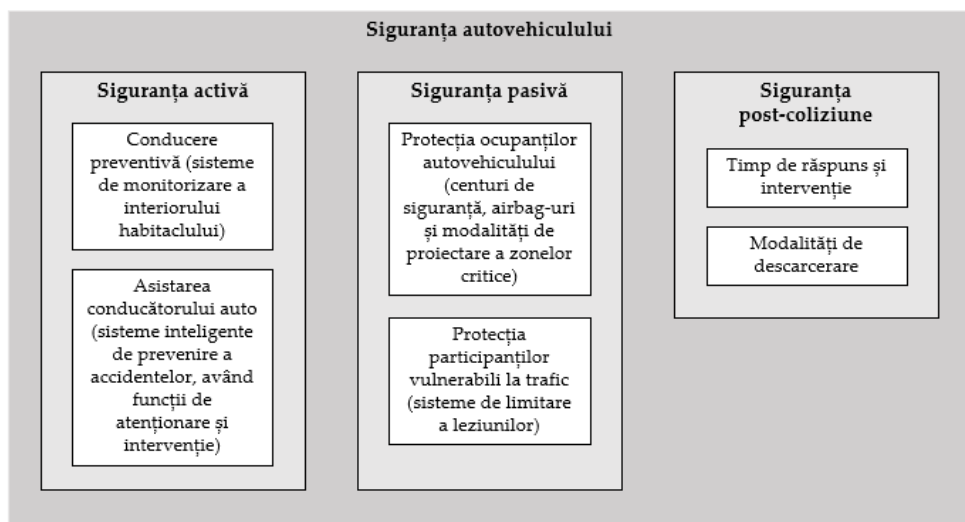


Fig. 10.2 Direcțiile de dezvoltare ale siguranței autovehiculelor [25,3–5,8,9,12–15,17,20–23]

Prin urmare, siguranța autovehiculului (fig. 10.2) poate fi îmbunătățită odată cu introducerea și dezvoltarea unor sisteme care să faciliteze conducerea preventivă și să asiste conducătorul auto, respectiv prin modalități de proiectare a structurii autovehiculului în vederea sporirii protecției ocupanților și a participanților vulnerabili la trafic. Nu în ultimul rând, se acordă atenție și duratei, respectiv modalității de intervenție în cazul unui accident rutier, în vederea diminuării efectelor deja produse.

## 10.5. Bibliografie

- [1] Todoruț, I.A., Barabas, I., and Burnete, N., “Siguranța autovehiculelor și securitatea în transporturi rutiere,” UT Press, ISBN 978-973-662-764-4, 2012.
- [2] \*\*\* World Health Organization, “Global Status Report on Road Safety 2018,” ISBN 978-92-41-5656-84, 2018.
- [3] \*\*\* European Commission, “Europe on the Move. Sustainable Mobility for Europe: safe, connected and clean,” 2018.
- [4] \*\*\* European Commission, “EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 - Next steps towards ‘Vision Zero’,” 2019.
- [5] \*\*\* World Health Organization, “Third Global Ministerial Conference on Road Safety”, <https://www.who.int/news-room/events/detail/2020/02/19/default-calendar/third-global-ministerial-conference-on-road-safety>, Febr. 2020.
- [6] \*\*\* European New Car Assessment Programme, “Euro NCAP Vision 2030: a Safer Future for Mobility,” <https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/euro-ncap-vision-2030-a-safer-future-for-mobility/>, Nov. 2022.
- [7] \*\*\* European New Car Assessment Programme, “Euro NCAP 2025 Roadmap: In pursuit of Vision Zero,” Euro NCAP Technical Paper, 2017.
- [8] Ribas, L.G.T., Cocron, M.P., Silva, J.L. Da, Zimmer, A., and Brandmeier, T., “In-cabin vehicle synthetic data to test deep learning based human pose estimation models,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, 2021, doi:10.1109/IV48863.2021.9576020.
- [9] Rong, Y., Akata, Z., and Kasneci, E., “Driver Intention Anticipation Based on In-Cabin and Driving Scene Monitoring,” IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2020, doi:10.1109/ITSC45102.2020.9294181.

- 
- [10] \*\*\* Robert Bosch GmbH, "Lane keeping assist," <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/lane-keeping-assist/>, Mar. 2023.
  - [11] \*\*\* Robert Bosch GmbH, "Automatic emergency braking," <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/automatic-emergency-braking/>, Mar. 2023.
  - [12] \*\*\* European Commission, "Intelligent speed assistance (ISA) set to become mandatory across Europe | European Road Safety Charter," <https://road-safety-charter.ec.europa.eu/resources-knowledge/media-and-press/intelligent-speed-assistance-isa-set-become-mandatory-across>, Nov. 2022.
  - [13] \*\*\* European New Car Assessment Programme, "Speed Assistance Systems," <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/speed-assistance/>, Nov. 2022.
  - [14] Senapati, P.R.R., Kumar, J.S.J., and Juliet, A.V., "LabVIEW based automatic speed assistance system in uncertain road conditions," Proceedings of 2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare, 2016, doi:10.1109/STARTUP.2016.7583940.
  - [15] Isaksson-Hellman, I. and Lindman, M., "An evaluation of the real-world safety effect of a lane change driver support system and characteristics of lane change crashes based on insurance claims data," Traffic Inj Prev 19, 2018, doi:10.1080/15389588.2017.1396320.
  - [16] Abdel-Aty, M., Cai, Q., Wu, Y., and Zheng, O., "Evaluation of automated emergency braking system's avoidance of pedestrian crashes at intersections under occluded conditions within a virtual simulator," Accid Anal Prev 176, 2022, doi:10.1016/j.aap.2022.106797.
  - [17] Isaksson-Hellman, I. and Lindman, M., "Evaluation of the crash mitigation effect of low-speed automated emergency braking systems based on insurance claims data," Traffic Inj Prev 17, 2016, doi:10.1080/15389588.2016.1186802.

- 
- [18] Todoruț, A. and Cordoș, N., "Modele fizico-matematice în dinamica accidentelor de circulație rutieră," UT Press, ISBN 978-606-737-267-0, 2017.
- [19] Smith, C.P., Sherony, R., and Gabler, H.C., "Identification and Characterization of Pedal Misapplication Crashes Using National and State Databases," International Research Council on the Biomechanics of Injury, 2021.
- [20] \*\*\* RoadSafetyFacts.eu, "Passive safety systems: what are they and how do they work?," <https://www.roadsafetyfacts.eu/passive-safety-systems-what-are-they-and-how-do-they-work/>, Nov. 2022.
- [21] \*\*\* Continental AG, "Passive Safety," <https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Safety/Functions/Passive-Safety>, Nov. 2022.
- [22] \*\*\* Autoliv, "Pedestrian Protection," <https://www.autoliv.com/safety-solutions/pedestrian-protection>, Nov. 2022.
- [23] Lv, X., Xiao, Z., Fang, J., Li, Q., Lei, F., and Sun, G., "On safety design of vehicle for protection of vulnerable road users: A review," Thin-Walled Structures 182, 2023, doi:10.1016/j.tws.2022.109990.
- [24] \*\*\* Humanetics, "ATD Crash Test Dummies," <https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices>, Mar. 2023.
- [25] \*\*\* Toyota, "Toyota pursues even higher level of safety for all," <https://www.toyota-europe.com/news/2023/total-human-model>, Mar. 2023.
- [26] \*\*\* Toyota Europe, "Passive Safety and THUMS," <https://www.toyota-europe.com/innovation/zero-accidents/passive-safety-and-thums>, Mar. 2023.
- [27] \*\*\* European New Car Assessment Programme, "Rescue and Extrication," <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings->

explained/ adult-occupant-protection/rescue-and-extrication/, Nov. 2022.

- [28] \*\*\* Rohde & Schwarz, "Help's on its way!," [https://www.rohde-schwarz.com/cz/about/technical-stories/ecall\\_251205.html](https://www.rohde-schwarz.com/cz/about/technical-stories/ecall_251205.html), Nov. 2022.
- [29] Ceklic, E., Ball, S., Finn, J., Brown, E., Brink, D., Bailey, P., Whiteside, A., Brits, R., and Tohira, H., "Ambulance dispatch prioritisation for traffic crashes using machine learning: A natural language approach," *Int J Med Inform* 168, 2022, doi:10.1016/j.ijmedinf.2022.104886.

## 11. TENDINȚE ÎN EVOLUȚIA SISTEMULUI DE CONDUCERE AUTONOM

Sistemul de conducere autonom (*Autonomous Driving System*) cuprinde evoluțiile tehnologice ale ultimilor ani, evoluții legate de puterea de procesare, de flexibilitate și de mobilitate. Nivelul de dezvoltare a conducerii autonome a ajuns în punctul în care autovehiculul autonom nu mai este evaluat din punct de vedere al performanțelor legate de viteza de deplasare, de performanțele dinamice sau de distanța de frânare. Autovehiculul autonom este evaluat prin capacitatea lui de a lua decizii legate de adaptarea vitezei de deplasare până la limita de siguranță, de capacitatea de a stabili trasee alternative înainte de a ajunge într-o zonă cu trafic restricționat, sau de capacitatea de a reduce viteza înainte de a ajunge pe un sector de drum cu denivelări etc. Acești factori de decizie diferențiază autovehiculele autonome în general [1].

Unitatea de comandă și control ECU (*Electronic Control Unit*) este un complex de module electronice utilizate pentru comanda și controlul unor parametrii care stabilesc funcționarea unui autovehicul autonom pe baza algoritmului de conducere autonom și în directă legătură cu regimul de funcționare al autovehiculului. Principiul după care funcționează ECU este denumit IPO (*Input Process Output*), respectiv introducere date, prelucrare date, generare date [1]. ECU este componenta centrală a sistemului de conducere autonom ADS (*Autonomous Driving System*) care primește informații de la senzori, iar pe baza specificațiilor algoritmului de control a sistemului de conducere autonom și pe baza regimului de funcționare al autovehiculului, generează comanda pentru principalele sisteme de acționare: sistemul de propulsie, sistemul de direcție și sistemul de frânare. În calitate de nod central de comunicație, ECU acționează ca un router pentru comunicația între unitățile de control dintr-un autovehicul pe magistrale de date (*LIN, CAN, FlexRay, MOST, Ethernet*) [1, 2].

Senzorii care echipează autovehiculul autonom realizează o scanare completă a mediului în care autovehiculul evoluează pentru a distinge toate



obiecte statice și dinamice (clădiri, copaci, pietoni, animale, autovehicule etc.), mediu înconjurător, particularitățile căii de rulare etc., atât în timpul zilei cât și pe timpul nopții (vizibilitate redusă). Informațiile provenite din fuziunea senzorilor sunt colectate de ADS, iar pe baza analizei acestor date sistemul va controla deplasarea autovehiculului în condiții de siguranță maximă.

## 11.1. Sistemul de conducere autonom

### 11.1.1. Nivelele de automatizare și asistență

SAE International (*Society of Automotive Engineers*) prin standardul J3016\_202104 "*Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*" [3] a definit nivelele de automatizare și asistență în conducerea autovehiculelor, care au rolul de a prelua sarcinile de conducere dinamică DDT (*Dynamic Driving Task*):

- ▶ SAE LEVEL 0<sup>TM</sup> (*No Automation*) (1885-1999) este caracterizat de faptul că nu există nici un sistem de asistență la conducere, rolul conducătorului auto (*Driver*) fiind de monitorizare permanentă a mediului de conducere (*Eyes On*) și de executare a sarcinilor de conducere dinamică DDT longitudinală (accelerare, frânare) și laterală (direcție) (*Hands On*). Autovehiculul (*Vehicle*) nu are nici un control [2].
- ▶ SAE LEVEL 1<sup>TM</sup> (*Driver Assistance*) (2000-2009) este caracterizat de faptul că, conducătorul auto are rolul de a prelua total sarcinile de conducere dinamică DDT dar este asistat în situațiile critice de sistemele de asistență la conducere. Conducătorul auto are control permanent longitudinal (accelerare, frânare) sau lateral (direcție), iar autovehiculul are control parțial longitudinal (accelerare, frânare) sau control parțial lateral (direcție) prin sisteme care intervin în situații de urgență: ABS (*Anti-lock Braking System*), ACC (*Adaptive Cruise*

Control), EB (*Emergency Braking*), ESC (*Electronic Stability Control*), LKA (*Lane Keeping Assist*) [2].

- ▶ SAE LEVEL 2<sup>TM</sup> (*Partial Automation*) (2000-2020) este caracterizat de faptul că, conducătorul auto are rolul de a prelua total sarcinile de conducere dinamică DDT dar este asistat în situațiile critice de sistemele de asistență la conducere. Conducătorul auto are control permanent longitudinal (accelerare, frânare) și lateral (direcție), iar autovehiculul are control longitudinal (accelerare, frânare) și control lateral (direcție) prin sisteme care intervin în situații de urgență: sistemele specificate la SAE LEVEL 1<sup>TM</sup> și ACC-FR (*Adaptive Cruise Control Full Range*), LCA (*Lane Change Assist*), LKC (*Lane Keeping Control*) [2].
- ▶ SAE LEVEL 3<sup>TM</sup> (*Conditional Automation*) (2020-prezent) este caracterizat prin faptul că, conducătorul auto poate prelua oricând controlul autovehiculului, sau sistemul de asistență la conducere poate solicita conducătorului auto să preia controlul în situații critice. Autovehiculul are control longitudinal (accelerare, frânare) și control lateral (trajectorie) prin sisteme care intervin în cazuri de urgență: sistemele specificate la SAE LEVEL 2<sup>TM</sup> și ADAS (*Advanced Driver-Assistance System*), APS (*Automatic Parking System*), CAS (*Collision Avoidance System*) [2].
- ▶ SAE LEVEL 4<sup>TM</sup> (*High Automation*) este caracterizat prin faptul că, conducătorul auto poate prelua oricând controlul autovehiculului, sau sistemul de asistență la conducere poate solicita conducătorului auto să preia controlul în situații critice, sau conducătorul auto poate să lipsească de la bord. Autovehiculul are permanent control longitudinal (accelerare, frânare) și control lateral (direcție) prin sisteme care intervin în cazuri de urgență: sistemele specificate la SAE LEVEL 3<sup>TM</sup> și PAS (*Partial Automation System*), CAS (*Conditional Automation System*) [2].

- SAE LEVEL 5<sup>TM</sup> (*Full Automation*) (în viitor) este caracterizat prin faptul că, sistemul de asistență la conducere gestionează toate situațiile în mod automat pe parcursul întregii deplasări prin sisteme care intervin în cazuri de urgență: sistemele specificate la SAE LEVEL 3<sup>TM</sup> și HAS (*High Automation System*) și FAS (*Full Automation System*). Conducătorul auto poate să lipsească de la bord [2].

Conform specificațiilor SAE J3016<sup>TM</sup>, domeniul de proiectare operațională ODD (*Operational Design Domain*) este o descriere a condițiilor de operare în baza cărora un sistem de conducere autonom este conceput pentru a funcționa, inclusiv, dar fără a se limita la: mediu, relief, restricții pe timp de zi și de noapte, caracteristici ale carosabilului sau ale traficului [2].

### 11.1.2. *Caracteristicile senzorilor*

Principalii senzori care echipează un autovehicul autonom sunt:

- *Lidar* (*Light Detection and Ranging*) funcționează pe baza tehnologiei de măsurare a distanțelor cu raze laser și permit sistemului de conducere autonom să genereze o imagine virtuală a mediului în care circulă autovehiculul pentru a stabili poziția precisă a acestuia și pentru a detecta obiectele statice și/sau dinamice de pe calea de rulare pentru o hartă 2D (*Lidar 2D*), respectiv sau pentru o hartă 3D (*Lidar 3D*) [1].
- *Radar* este dispus în partea din față, respectiv în partea din spate a autovehiculului autonom pentru a măsura distanța până la obiectele detectate, respectiv pentru a calcula viteza acestora și a estima direcția de deplasare [1].
- *Camera* de înaltă rezoluție oferă o imagine circulară asupra mediului înconjurător, monitorizează permanent deplasarea autovehiculului autonom, traseul urmat de acesta, recunoaște și clasifică semnele de circulație, respectiv obiectele statice și dinamice din proximitate [1].

- *V2X (Vehicle-to-Everything)* reprezintă legătura de comunicație între autovehiculul autonom și mediul înconjurător inteligent (autovehicule, infrastructură, pietoni etc.) destinate creșterii siguranței traficului [1].

Caracteristicile acestor senzori [1, 4, 5], raportat la câmpul vizual sunt prezentate comparativ cu caracteristicile de percepție a factorului uman (conducătorul auto) și sunt clasificate conform următoarelor criterii de performanță (tabelul 11.1) [6]:

*Tabelul 11.1 Caracteristicile senzorilor care echipază un autovehicul autonom*

Nr.	Performanțe	Uman	Lidar	Radar	Camera	V2X
1	Detectarea obiectelor	4/5	4/5	4/5	1/2	4/5
2	Clasificarea obiectelor	4/5	2/3	0/1	4/5	4/5
3	Rezoluția imaginilor	4/5	3/4	2/3	4/5	4/5
4	Estimarea distanțelor	1/2	4/5	4/5	3/4	4/5
5	Estimarea proximităților	3/4	2/3	3/4	4/5	4/5
6	Urmărirea liniei vizuale	4/5	1/2	1/2	4/5	4/5
7	Detectarea vitezei	2/3	4/5	4/5	1/2	4/5
8	Aria de vizibilitate	4/5	2/3	4/5	3/4	4/5
9	Culori / contrast	4/5	0/1	0/1	4/5	4/5
10	Condiții meteorologice	2/3	2/3	4/5	1/2	4/5
11	Iluminare redusă	2/3	4/5	4/5	1/2	4/5
12	Iluminare ridicată	2/3	4/5	4/5	3/4	4/5
13	Dimensiunile senzorilor	-/-	1/2	4/5	4/5	4/5
14	Prețul senzorilor	-/-	1/2	4/5	4/5	1/2

Notă: Caracteristicile senzorilor sunt exprimate prin următoarele valori: (0) este un scor foarte mic, (1) este un scor mic, (2) este un scor aproape corect, (3) este un scor corect, (4) este un scor bun și (5) este un scor foarte bun.

### 11.1.3. Unitatea de comandă și control

Unitatea de comandă și control este componenta centrală a sistemului de conducere autonom. Aceasta primește informații de la senzori, iar pe baza prelucrării și interpretării acestor date, cumulat cu regimul de funcționare al autovehiculului și pe baza algoritmului de control sunt generate comenzile pentru acționarea sistemelor principalelor: sistemul de propulsie, sistemul de direcție și sistemul de frânare [4]. Diagrama bloc a sistemului de conducere autonom este prezentată în figura 11.1 [1].

Algoritmul funcțional al sistemului de conducere autonom are la bază poziția în timp real a autovehiculului autonom, poziție care este generată de modulul de localizare pe baza datelor provenite de la blocul de senzori: HMI (*Human Machine Interface*), Lidar (2D, 3D), radar, camera, GPS/GNSS (*Global Positioning System / Global Navigation Satellite System*), IMU (*Inertial Measurement Unit*), sau alți senzori (*Sensor x*, *Sensor y*), respectiv semnale provenite de la alte unități inteligente și interconectate (*V2X Unit*).

Datele provenite din fuziunea senzorilor sunt preluate de blocul integrator pentru date și sunt comparate cu datele de referință cu privire la caracteristicile și coordonatele geografice (latitudine, longitudine și altitudine) ale traseului selectat și implementat în blocul generator pentru hărțile locale. Modulul de percepție primește datele de localizare ale autovehiculului autonom de la blocul de localizare și datele din fuziunea senzorilor care semnalează prezența obiectelor statice și/sau dinamice în proximitate. Percepția are rolul de a detecta obiectele și de a clasifica obiectele detectate în obiecte statice și obiecte dinamice, respectiv pe grupe de obiecte acolo unde algoritmul permite acest lucru (clădiri, copaci, pietoni, animale, autovehicule etc.).

Totodată, percepția are rolul de a estima dacă obiectele dinamice aflate în proximitate își pot intersecta traiectoria cu traseul de deplasare al autovehiculului autonom. Pe baza vitezei de deplasare a acestor obiecte (viteză determinată de senzorul radar) raportată la viteza de deplasare a autovehiculului autonom, modulul de percepție va determina dacă există

riscul unei coliziuni cu obiectul monitorizat și va trimite această informație modulului de predicție și planificare [1, 4, 5].

Modulul de predicție și planificare primește datele de la modulul de percepție, respectiv lista cu obiectele statice și dinamice existente în proximitate și suprapunerea poziției acestora peste traiectoria selectată și implementată în harta locală de deplasare. Pe baza acestor date, modulul de predicție și planificare va selecta o traiectorie optimă pe care o va urma autovehiculul autonom pe baza unor criterii prestabilite în condiții de deplasare în siguranță și fără coliziuni [1, 4, 5].

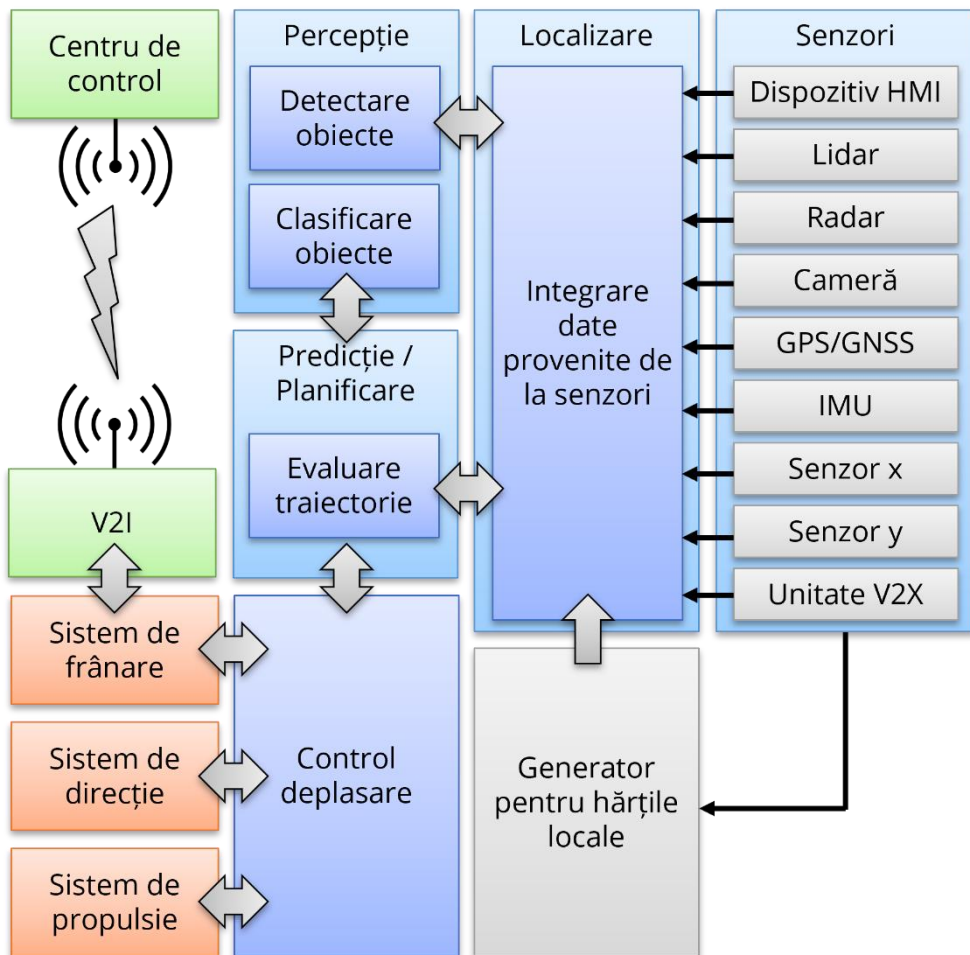


Fig. 11.1 Diagrama bloc a sistemului de conducere autonom (adaptare după [2])

Modulul de control a deplasării transmite comenzi sistemului de propulsie, sistemului de direcție și sistemului de frânare pe baza datelor primite din modulele de localizare, de percepție, respectiv de predicție și de planificare. Din motive de securitate cibernetică, sistemul de frânare este singurul sistem care poate fi acționat în caz de urgență de personalul de monitorizare a deplasării autovehiculului autonom prin intermediul unei platforme de management printr-o rețea securizată de tip VPN (*Virtual Private Network*) [1, 4, 5].

## **11.2. Comunicații pentru autovehicule autonome**

### **11.2.1. Comunicații V2X**

Conceptul V2X (*Vehicle-to-Everything*) reprezintă o serie de legături de comunicație între autovehiculele autonome și mediul înconjurător inteligent (autovehicule, infrastructură, pietoni etc.) care au rolul de a favoriza creșterea siguranței circulației, eficientizarea traficului rutier, reducerea incidenței accidentelor, respectiv dezvoltarea unui sistem de transport inteligent. Comunicațiile V2X depind de nivelul de dezvoltare al infrastructurii inteligente pe toată lungimea traseului urmat de autovehiculul autonom, respectiv de numărul de autovehicule care au tehnologia și capabilitățile de interconectare. Tehnologiile de comunicație utilizate sunt DSRC (*Dedicated Short Range Communication*) pentru distanțe scurte și/sau LTE-V2X (*Long Term Evolution for V2X*) pentru distanțe medii și lungi [1].

Autovehiculele autonome necesită structuri bazate pe rețele de comunicație fiabile, cu arhitecturi redundante, în timp real. Aceste arhitecturi vor conecta autovehiculele inteligente la clustere de înaltă performanță în domenii funcționale printr-o unitate *Central Gateway* într-o structură de date de tip *Cloud Computing* (fig. 11.2) [1, 7].

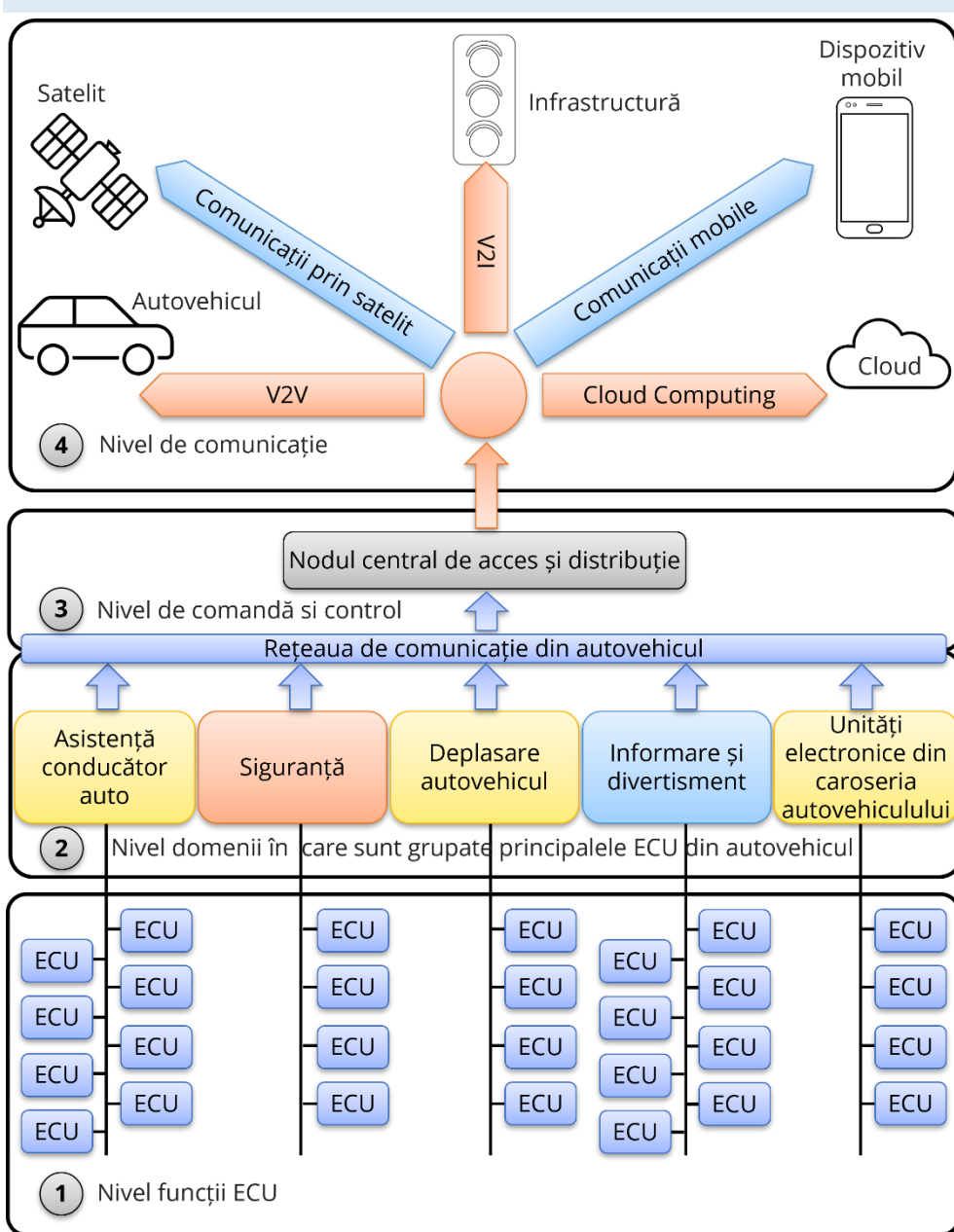


Fig. 11.2 Structurile de comunicație pentru autovehiculele autonome (adaptare după [2])



### 11.2.2. *Comunicații V2V*

Comunicațiile V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) între autovehiculele inteligente, sunt aplicații de conducere cooperativă (*Cooperative Driving*) care presupun transmiterea de mesaje de la un autovehicul gazdă (*Host Vehicle*) la alte autovehicule din proximitatea acestuia (*Remote Vehicle*). Aplicațiile V2V se bazează pe determinarea stării de funcționare a altor autovehicule aflate la distanță de autovehiculul ce urmează a fi informat prin comunicare de mesaje. Elementul principal al comunicațiilor V2V este BSM (*Basic Safety Message*), mesaj definit de standardul SAE J2735 [8], care oferă informații cu privire la poziția curentă și la viteza autovehiculului autonom determinând traiectoria longitudinală de deplasare a acestuia față de celelalte autovehicule în trafic. Această traiectorie poate fi influențată de viteza sau de direcția autovehiculului autonom și este controlată de sistemul de conducere autonom pe baza informațiilor de la senzori, respectiv de la sistemele V2V [1].

### 11.2.3. *Comunicații V2I*

Comunicațiile V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*) între autovehiculele inteligente și infrastructura inteligentă sunt aplicații destinate atât siguranței traficului cât și fluidizării mobilității. Aplicațiile de siguranță implică alerte și avertismente, în timp ce aplicațiile de mobilitate implică colectarea de date de la autovehicule pentru monitorizarea traficului rutier într-o anumită zonă. Informațiile rutiere sunt generate de una sau mai multe surse și sunt comunicate autovehiculelor, sau sunt generate de autovehicule și sunt transmise mediului în care acestea circulă.

Informațiile transmise de către un sistem V2I includ elemente de identificare a poziției geografice, astfel încât informația să poată fi utilizată într-un context bazat pe locația autovehiculului și va conține informații despre starea drumului, despre traficul rutier, astfel încât sistemul de conducere autonom să fie informat prin alerte cu privire la evenimentele rutiere (statice sau dinamice) care au loc pe sectorul de drum considerat [1].

Evenimentele statice sunt permanente pentru anumite perioade de timp și sunt marcate prin semnele de circulație permanente sau temporare. Un eveniment static tipic este un potențial pericol rutier neprevăzut, iar pentru aceste situații sistemul V2I generează sau preia de la o autoritate rutieră un mesaj de avertizare a riscurilor [2].

Evenimentele dinamice sunt temporare, durează intervale scurte de timp, astfel încât potențialele pericole sunt prezente intermitent în traficul rutier. Informațiile despre evenimentele dinamice sunt retransmise periodic prin intermediul sistemelor V2I, deoarece starea acestora se schimbă în timp, iar informațiile trebuie să se reflecte starea actuală și evoluția evenimentului monitorizat [2].

#### **11.2.4. Comunicații V2P**

Comunicațiile V2P (*Vehicle-to-Pedestrian*) între autovehicule inteligente și pietoni care au asupra lor dispozitive inteligente (*Smartphone*) se adresează unor grupuri de utilizatori vulnerabili (pietoni, bicicliști, persoane cu dizabilități sau cu mobilitate redusă) denumiți VRU (*Vulnerable Road User*) și au rolul de a avertiza sistemul de conducere autonom, dar și grupurile de pietoni despre potențiale pericole existente în trafic. Comunicațiile V2P implică un schimb direct de mesaje de siguranță între autovehiculele din trafic și VRU prin tehnologia 802.11p, sau indirect prin comunicație bazată pe tehnologia celulară [2]. Comunicația directă se realizează prin stabilirea unui canal de comunicație direct între autovehiculele și VRU și presupune cea mai mică latență în transmiterea mesajelor, dar necesită ca toate dispozitivele să fie echipate cu același tip de tehnologie de comunicație. Comunicația indirectă se realizează prin stabilirea unui canal de comunicație prin infrastructură, dispozitivele fiind echipate cu aceeași tehnologie celulară sau cu tehnologii diferite. Rolul dispozitivelor VRU poate fi activ, atunci când dispozitivele participă activ la comunicația V2P, transmițând periodic informații despre locație, viteză, sau pasiv atunci când dispozitivele primesc informații de la autovehiculele inteligente din trafic.

### 11.3. Concluzii

Conducerea autonomă nu mai este un concept care aparține exclusiv viitorului. Autovehicule autonome există în jurul nostru, iar tehnologiile pe care le integrează aparțin prezentului. Marea provocare pentru specialiștii în domeniu este însă de a duce autovehiculele la următorul nivel, de conducere autonomă totală.

Conducerea autonomă a autovehiculelor și a flotelor de autovehicule este una dintre marile provocări ale anilor următori. Evoluția fulminantă a inteligenței artificiale și integrarea acesteia în sistemele de conducere autonomă va permite depășirea barierelor actuale cu privire la deciziile pe care autovehiculul trebuie să le ia independent de factorul uman.

Un alt factor esențial în dezvoltarea viitoare a conducerii autonome este adoptarea unui cadru legal unitar la nivel global, care să permită într-un context cât mai flexibil efectuarea actualizărilor și corecțiilor necesare pe măsura implementării și validării noilor tehnologii.

## 11.4. Bibliografie

- [1] Iclodean, C., Varga, B.O., and Cordoș, N., "Autonomous Vehicles for Public Transportation," Springer International Publishing, Cham, ISBN 978-3-031-14677-0, 2022, doi:10.1007/978-3-031-14678-7.
- [2] Iclodean, C., "Introducere în sistemele autovehiculelor," Risoprint, ISBN 978-973-53-2990-7, 2023.
- [3] Iclodean, C., "Rețele de comunicație pentru autovehicule," Risoprint, ISBN 978-973-53-1992-2, 2017.
- [4] \*\*\* SAE International, Standard J3016 - Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, Apr. 2023.
- [5] Iclodean, C., Cordos, N., and Varga, B.O., Autonomous shuttle bus for public transportation: A review, *Energies (Basel)* 13(11), 2020, doi:10.3390/en13112917.
- [6] Vargas, J., Alsweiss, S., Toker, O., Razdan, R., and Santos, J., "An overview of autonomous vehicles sensors and their vulnerability to weather conditions," *Sensors* 21(16), 2021, doi:10.3390/s21165397.
- [7] IEEE Spectrum, 6 Key Connectivity Requirements of Autonomous Driving , IEEE Spectr, 2021.
- [8] \*\*\* SAE International, "Standard J2735 - V2X Communications Message Set Dictionary," [https://www.sae.org/standards/content/j2735\\_202211/](https://www.sae.org/standards/content/j2735_202211/), Apr. 2023.

## 12. INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ ÎN INDUSTRIA AUTO

### 12.1. Generalități

Odată cu apariția societății informaționale și a folosirii pe scară largă a mijloacelor informatice (computere) au apărut posibilitățile de stocare masivă a fluxului de date generate de acestea. Încă din deceniul 7 al secolului trecut au apărut primele încercări de aplicare a unor algoritmi matematici care să utilizeze datele generate și stocate, pentru a scoate în evidență un anumit tipar (comportament) informațional. Aceste încercări sunt considerate a fi primele încercări de aplicare a tehnicilor de inteligență artificială (IA) în rezolvarea unor probleme specifice societății umane, iar aplicarea masivă din zilele noastre a modelelor de IA se datorează dezvoltării și dinamicii exponențiale a utilizării mijloacelor informatice. La ora actuală se poate considera că, inteligența artificială are un impact semnificativ asupra industriei auto, deoarece prin integrarea tehnologiilor IA la diverse nivele de dezvoltare și producție, acestea transformă modul în care vehiculele sunt proiectate, construite și conduse/exploatate.

La modul general principalele direcții de aplicare a IA în schimbarea dinamicii industriei auto sunt (fig. 12.1):

1. *Conducerea autonomă*: IA este o tehnologie crucială pentru vehiculele cu conducere autonomă, deoarece în mod primordial permite vehiculelor să perceapă împrejurimile mediului de exploatare și să ia decizii pe baza datelor colectate/furnizate de senzori și camere. Conducerea autonomă are potențialul de a revoluționa procesul de transport prin: creșterea siguranței rutiere (reducerea numărului de accidente), îmbunătățirea eficienței consumului de combustibil și, de ce nu, a creșterii mobilității pentru persoanele în vârstă și a persoanelor cu dizabilități.

2. *Mentenanță predictivă*: sistemele de întreținere predictivă dezvoltate și aplicate pe bază de inteligență artificială pot analiza datele de la senzorii din vehicule pentru a prezice momentul când componentele au tendința de a se defecta. Acest lucru poate ajuta de exemplu la evitarea unor defecte catastrofale care să ducă la imobilizarea vehiculului, la reducerea timpilor de nefuncționare datorită unor reparații laborioase și a costurilor aferente de reparație.
3. *Siguranță în exploatare*: IA poate fi folosită pentru a analiza direct și permanent comportamentul conducătorului auto, a detecta distragerea de la condus și pentru a furniza atenționări pentru a preveni accidente iminente. Ca și un exemplu imediat, funcțiile de siguranță bazate pe inteligență artificială și deja existente/implementate în sistemele vehiculelor moderne sunt: frânarea automată de urgență, avertismentele de părăsire a benzii de rulare, monitorizarea unghiului mort etc.
4. *Experiență de conducere personalizată*: sistemele de infotainment alimentate cu inteligență artificială pot afla preferințele șoferilor și pot în consecință ajusta setări precum muzica, controlul climatizării și navigația în consecință fără intervenție umană directă. Acest lucru poate ridica calitatea legată de experiența și satisfacția de conducere a conducătorului auto.
5. *Producție*: prin caracteristicile și avantajele imediate pe care le oferă IA este folosită pentru a optimiza procesele de producție, a îmbunătăți controlul calității, a reduce deșeurile, a ajuta la prezicerea cererii și la optimizarea gestionării stocurilor, a optimizării managementului energetic al liniilor de producție etc., cu rol direct și transformator în eficientizarea globală a tuturor proceselor din industria auto.

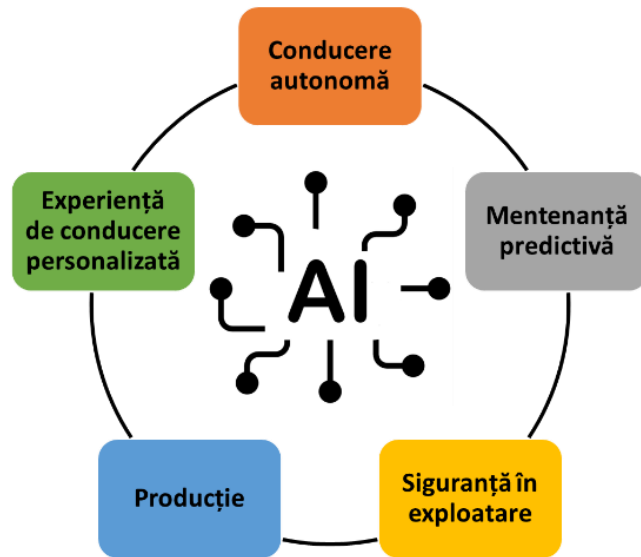


Fig. 12.1 Aplicații ale inteligenței artificiale în industria auto

## 12.2. Aplicații ale IA în optimizarea grupului motopropulsor

Prin natura constructivă și funcțională a unui vehicul, grupul motopropulsor (sursa energetică) este considerat a fi cel mai important sistem funcțional. Inevitabil, datorită creșterii gradului de mecatronizare a grupurilor motopropulsoare actuale ale vehiculelor, au apărut oportunitățile de a implica (implementa) metode și tehnici de IA în funcționarea și exploatarea lor, cu scopul direct de a îmbunătăți eficiența motorului, prin următoarele direcții aplicative (fig. 12.2):

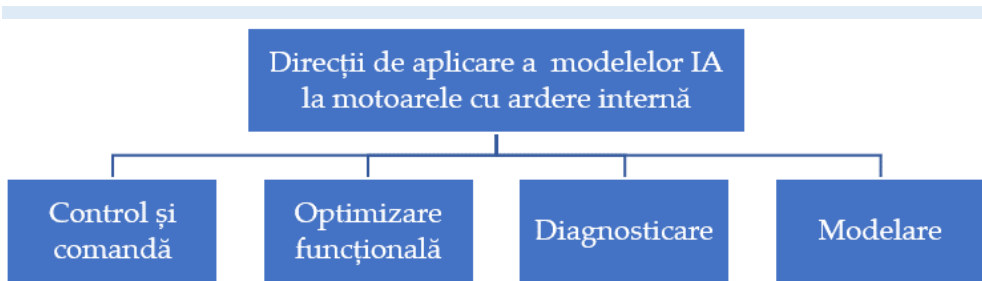
1. *Întreținere predictivă*: analizând datele de la senzorii de pe motor, algoritmi IA pot detecta probleme potențiale și pot prezice când este nevoie de realizarea unor operații specifice de întreținere. Acest lucru poate reduce timpul de nefuncționare și poate preveni reparațiile costisitoare.
2. *Controlul motorului*: IA poate fi folosit pentru a optimiza sistemele de control al motorului, cum ar fi injecția de combustibil, realizarea

amestecului aer-combustibil, sincronizarea aprinderii și recircularea gazelor de eșapament. Acest lucru poate îmbunătăți eficiența energetică a motorului, reducerea consumului de combustibil și în mod direct de a reduce emisiile poluante.

3. *Optimizarea performanțelor grupului motopropulsor:* algoritmi IA pot optimiza performanța motorului și a transmisiei prin ajustarea punctelor de schimbare a vitezelor și managementul cuplului motor. Acest lucru duce la economie de combustibil dar în același timp poate reduce și uzura motorului prelungind durata de viață a acestuia.
4. *Proiectarea și construcția motorului:* în mod indirect IA poate ajuta la proiectarea eficientă a componentelor motoarelor prin analiza proceselor specifice ce au loc în funcționare (caracteristicile fluxului de aer admis și a gazelor evacuate, procesul de ardere, procesul de transfer termic, etc.). Prin această utilizare proiectanții și dezvoltatorii pot să conceapă motoare cu o putere specifică mai mare și o economie de combustibil mai bună.
5. *Sisteme inteligente de transport:* la modul indirect odată cu utilizarea IA în creșterea eficienței motorului, IA poate fi folosită în sistemele de transport inteligente pentru a optimiza fluxul de trafic și a reduce congestionarea, ceea ce poate duce la îmbunătățirea eficienței motorului, reducerea consumului de combustibil și reducerea emisiilor poluante în atmosferă.

Concluzionând, se poate afirma că aplicarea IA în funcționarea și exploatarea grupurilor motopropulsoare joacă un rol important în îmbunătățirea eficienței motorului și transmisiei, cu impact imediat în reducerea emisiilor poluante, la economisirea costurilor cu combustibilul și la creșterea durabilității generale.





*Fig. 12.2 Direcții generice de aplicare a modelelor IA în analiza proceselor funcționale ale motoarelor cu ardere internă*

### **12.3. Aplicații ale IA în optimizarea proceselor funcționale specifice ale motoarelor cu ardere internă**

Problematica contemporană a utilizării motoarelor cu ardere internă este legată de faptul că prin natura și caracteristicile funcționale, motoarele cu ardere internă folosesc energia chimică din combustibilii fosili transformată în căldură (lucru mecanic) prin intermediul unui proces de ardere imperfect. Acest lucru duce la apariția unor emisii poluante specifice cu efect dăunător atât asupra sănătății umane cât și asupra mediului înconjurător. Există trei mari direcții de eficientizare a utilizării motoarelor cu ardere internă (dar nu singurele) prin: optimizarea procesului de ardere, creșterea eficienței realizării amestecului aer-combustibil și comanda și controlul sistemelor pentru optimizarea funcționării motorului în funcție de cerințele specifice (regimuri de sarcină).

Astfel, există modele IA dezvoltate pentru a prezice arderea în motoarele cu ardere internă, modele ce pot fi în proiectarea și construcția unor motoare mai eficiente, cu emisii poluante reduse, cele mai importante (prin prisma aplicabilității lor) fiind (fig. 12.3):

1. *Neural Networks (NN)*: rețelele neuronale sunt un tip de model IA care poate identifica un tipar comportamental prin analiza unui volum mare de date. Acestea modele au fost utilizate cu precădere pentru a prezice performanțele dinamice ale motorului și caracteristicile de

ardere prin analiza datelor senzorilor motorului (presiunea și temperatura din camera de ardere).

2. *Support Vector Machines (SVM)*: un alt tip de model IA care poate fi folosit pentru predicția desfășurării procesului de ardere, modele ce pot prezice comportarea viitoare a sistemului (pentru a prezice comportamentul/desfășurarea procesului de ardere în diferite condiții de funcționare) prin analiza datelor obținute din teste anterioare ale motoarelor.
3. *Gaussian Process Regression (GPR)*: un model IA bazat pe o metodă statistică utilizată pentru modelarea sistemelor complexe. A fost folosit pentru a prezice comportamentul de ardere în motoare prin analiza datelor din testele pe stand și/sau simulări numerice ale motoarelor.
4. *Random Forests (RF)*: un tip de model de arbore de decizie (rețea decizională) care poate fi folosit pentru probleme de regresie și clasificare a datelor și folosit pentru a prezice performanța motorului și comportamentul de ardere prin analiza datelor senzorilor de la motor.
5. *Convolutional Neural Networks (CNN)*: un tip particular de rețea neuronală utilizată cu precădere pentru recunoașterea imaginilor, fiind adaptate pentru a prezice comportamentul arderii prin analiza imaginilor frontului de ardere (a flăcării) din interiorul camerei de ardere a motorului.

Prin prisma eficienței ridicate a aplicării lor în practică, modelele IA devin din ce în ce mai importante pentru prezicerea arderii în motoarele cu ardere internă, deoarece rezultatele obținute ajută direct și imediat inginerii să proiecteze motoare mai eficiente, cu emisii poluante reduse, ceea ce duce la o utilizare sustenabilă a acestor tipuri de motoare.

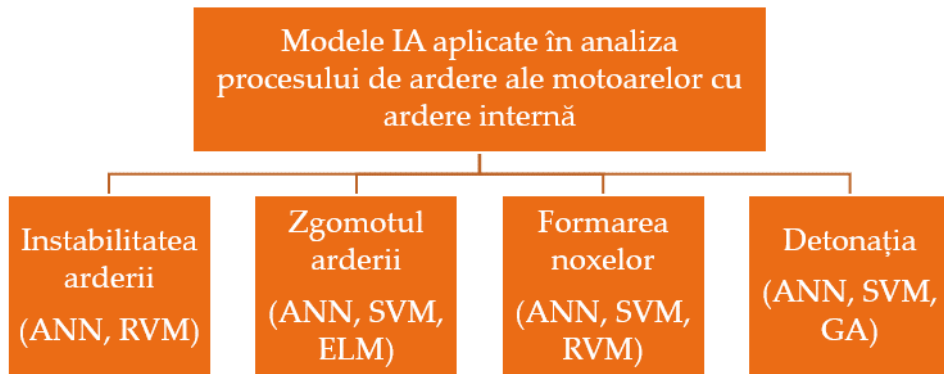


Fig. 12.3 Modele IA aplicate în analiza procesului de ardere ale motoarelor cu ardere internă (ANN - Artificial Neural Network, RVM - Relevance Vector Machine, SVM - Support Vector Machine, ELM - Extreme Learning Machine, GA - Genetic Algorithm) [1-4]

În ceea ce privește dezvoltarea modelelor IA pentru a prezice raportul aer-combustibil (AFR - Air Fuel Ratio) în motoarele cu ardere internă, acest lucru se datorează faptului că AFR este un parametru critic pentru controlul arderii în motorul, iar predicția precisă poate duce la o mai bună eficiență a utilizării combustibilului și la reducerea emisiilor poluante. La modul general următoarele modele IA sunt utilizate pentru predicția AFR:

1. *Neural Networks (NN)*: rețelele neuronale sunt un tip de model IA care poate identifica un tipar comportamental prin analiza unui volum mare de date, utilizate pentru a prezice AFR prin analiza datelor de la senzorii motorului, cum ar fi: debitul de masă al aerului admis, turația motorului și poziția clapetei de accelerație.
2. *Support Vector Machines (SVM)*: tip de model IA care poate fi folosit pentru predicția AFR în diferite condiții de funcționare, utilizând date obținute din teste pe stand anterioare.
3. *Genetic Programming (GP)*: o tehnică IA care dezvoltă programe de calculator pentru a rezolva probleme. Modelul de acest poate fi folosit pentru a prezice AFR prin determinarea unor expresii/relații

matematice care fac legătura dintre datele senzorilor motorului cu variația AFR.

4. *Fuzzy Logic (FL)*: logica de tip fuzzy este un tip de IA care poate gestiona incertitudinea și imprecizia datelor. A fost folosit pentru a prezice AFR prin analiza directă a datelor senzorilor motorului și oferă o estimare probabilistică a AFR.
5. *Deep Learning (DL)*: un tip de rețea neuronală care utilizează mai multe straturi de procesare pentru a învăța/identifica modele complexe din datele analizate. Poate fi folosit pentru a prezice AFR prin analizarea datelor senzorilor motorului și oferind o estimare continuă a AFR.

Atât optimizarea procesului de ardere a combustibilului cât și necesitatea estimării continue pentru eficientizare a procesului de realizare al amestecului aer-combustibil necesită ca modele de IA să fie aplicate și în ceea ce privește comanda și controlul motorului cu ardere internă (managementul motor), lucru ce ajută direct la optimizarea performanțelor motorului, îmbunătățirea eficienței consumului de combustibil și reducerea emisiilor poluante.

Modele IA utilizate curent pentru comanda și controlul motoarelor cu ardere internă sunt (fig. 12.4):

1. *Model-Based Control (MC)*: utilizează un model matematic al motorului pentru a prezice comportamentul acestuia și optimizează strategiile de control. Algoritmii IA pot fi utilizați pentru a dezvolta și a perfecționa aceste modele, permițând predicții îmbunătățite și un control mai precis.
2. *Reinforcement Learning (RL)*: o tehnică IA în care un agent învață să întreprindă acțiuni care maximizează o informație/semnal. Folosit pentru a optimiza controlul motorului prin învățarea celor mai bune acțiuni de control pe care să le întreprindă managementul motorului în diferite condiții de funcționare/exploatare.

3. *Adaptive Control (AC)*: controlul adaptiv ajustează strategiile de control în funcție de modificările comportamentului motorului. Algoritmii IA pot fi utilizați pentru a analiza datele senzorului și pentru a ajusta parametrii de control în timp real, permițând un control mai precis și o performanță mai bună a motorului.
4. *Predictive Control (PC)*: controlul predictiv utilizează un model al motorului pentru a prezice comportamentul viitor și optimizează strategiile de comandă și control în consecință. Algoritmii IA pot fi utilizați pentru a dezvolta și a perfecționa aceste modele, permițând predicții mai precise și un management mai bun a motorului.
5. *Multi-Objective Optimization (MOO)*: optimizarea multiobiectivă ia în considerare mai multe criterii de performanță, cum ar fi eficiența consumului de combustibil și nivelul emisiilor poluante, atunci când optimizează strategiile de control. Algoritmii IA pot fi utilizați pentru a găsi compromisul optim între aceste strategii, ceea ce duce la motoare mai eficiente și mai ecologice.

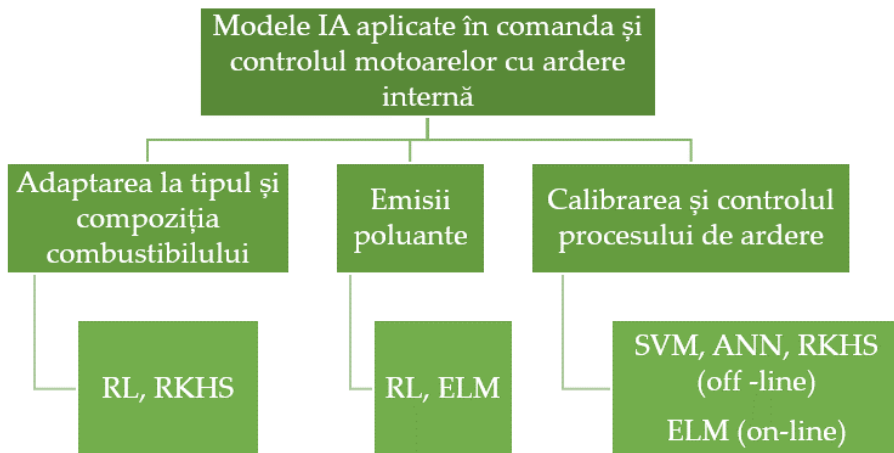


Fig. 12.4 Modele IA aplicate în comanda și controlul motoarelor cu ardere internă (RL-Reinforcement Learning, ANN-Artificial Neural Network, RKHS-Reproducing Kernel Hilbert Space, ELM-Extreme Learning Machine) [5-9]

Necesitatea ca managementul electronic al motorului prin acțiunile de comandă și control să devină cât mai eficient duce la aplicarea pe scară din ce în ce mai largă a modelele IA prezentate anterior. Precizia utilizării modelelor AI în ceea ce privește posibilitatea de a controla precizia de realizare a amestecului aer-combustibil pentru un motor cu ardere internă este prezentată în continuare, pe baza cercetărilor efectuate [10]. Experimentul a constatat în utilizarea în structura de control al formării AFR a trei tipuri de controlare amplasate în bucla de feedback a blocului funcțional. Rezultatele obținute au arătat că la pornire, sistemul are o instabilitate ridicată din cauza schimbării/variației continue a poziției clapetei de accelerație, dar se poate observa că prin utilizarea controlerului NN s-a redus eroarea de control AFR cu 50% și 30% în comparație cu controlul PID și respectiv controlul PID fuzzy. Odată ce sistemul devine mai stabil (clapeta de accelerație s-a deschis la valoarea cerută), controlul prin NN a redus eroarea de control AFR cu 60% și 50% în comparație cu controlul PID și controlul PID fuzzy, ceea ce arată pe deplin eficacitatea metodei de control IA (fig. 12.5).

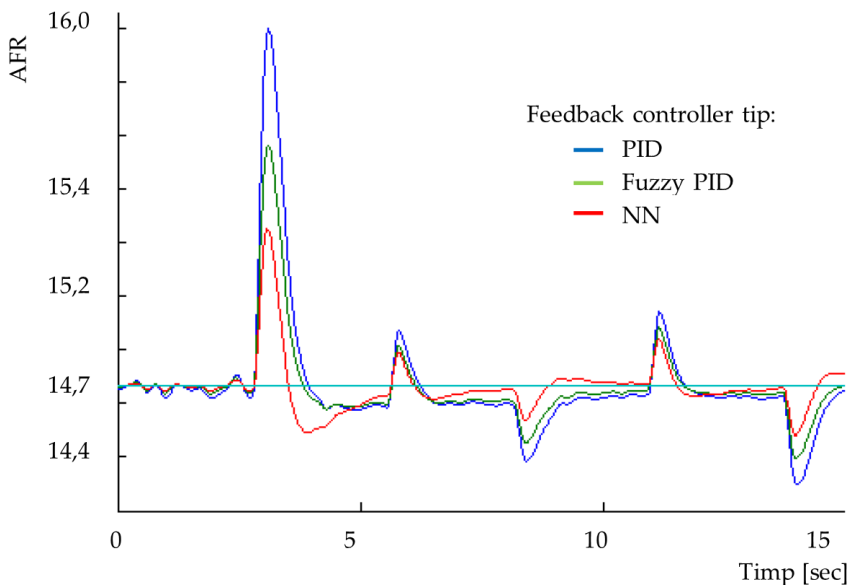


Fig. 12.5 Variația AFR la pornirea unui motor cu ardere internă prin utilizarea a trei tipuri de controlare a buclei de control de tip feedback (PID, Fuzzy PID și NN) (adaptare după [10])

## 12.4. Strategii de alegere a IA în optimizarea funcțională a motoarelor cu ardere internă

Data fiind multitudinea de modele IA posibil a fi folosite pentru optimizarea funcțională a motoarelor cu ardere internă, întrebarea care se pune este: *Ce model se folosește pentru a obține cel mai bun rezultat?* Experiența de până acum a mai multor cercetări din domeniu a dus la posibilitatea de a identifica unele strategii de alegere a modelului IA în funcție de domeniul de aplicare relativ la optimizarea funcțională a motoarelor cu ardere internă (fig. 12.6).

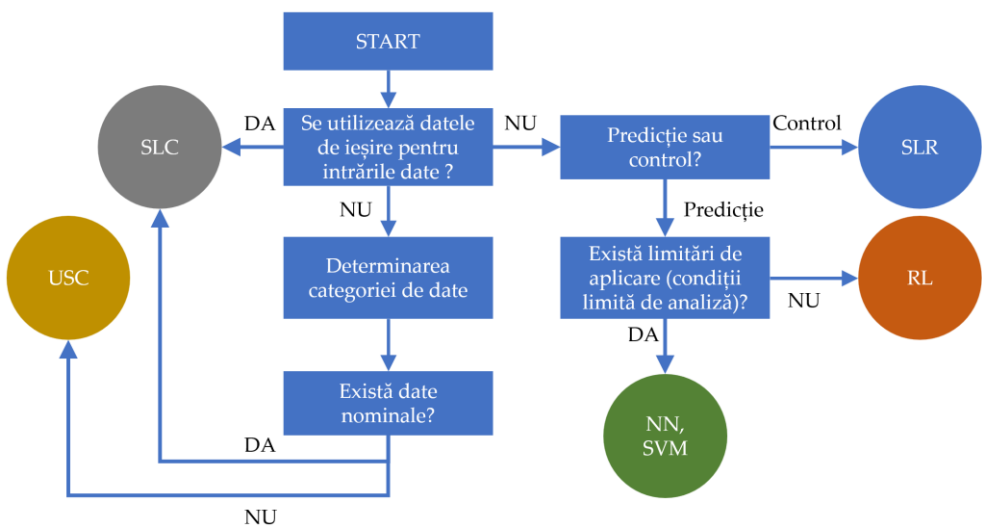


Fig. 12.6 Strategia de alegere a metodei IA în optimizarea funcțională a motoarelor cu ardere internă (SLC - Supervised Learning Classification, SLR - Supervised Learning Regression, USC - Unsupervised Clustering, RL - Reinforcement Learning, NN - Neural Network, SVM - Support Vector Machine) (adaptare după [11])

## 12.5. Concluzii

Concluzia generală ce poate fi trasă, din această scurtă prezentare a posibilităților de aplicare a metodelor IA în industria auto, este aceea că dezvoltarea tehnologică actuală permite utilizarea unor concepte moderne de aplicare a IA, în structurile de comandă și control ale motoarelor cu ardere

---

internă, pe baza multitudinii de avantaje și modele disponibile prezentate anterior, pentru optimizarea funcțională a motoarelor.

Totuși, trebuie precizate și limitările de aplicabilitate imediată în practică date de: necesitatea unor volume foarte mari de date disponibile modelului IA (cu cât volumul de date este mai mare cu atât acuratețea rezultatelor crește, dar cu precizarea că aceste date trebuie să fie de calitate), puterea mare și rapidă de calcul și necesitatea unor unități (sisteme) de stocare a datelor de capacitate ridicată.



## 12.6. Bibliografie

- [1] Rezaei, J., Shahbakhti, M., Bahri, B., and Aziz, A.A., "Performance prediction of HCCI engines with oxygenated fuels using artificial neural networks," *Appl Energy* 138, 2015, doi:10.1016/j.apenergy.2014.10.088.
- [2] Vaughan, A. and Bohac, S. V., "Real-time, adaptive machine learning for non-stationary, near chaotic gasoline engine combustion time series," *Neural Networks* 70, 2015, doi:10.1016/j.neunet.2015.04.007.
- [3] Liu, Y., Zhang, J., Qin, K., and Xu, Y., "Diesel engine fault diagnosis using intrinsic time-scale decomposition and multistage Adaboost relevance vector machine," *Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci* 232(5), 2018, doi:10.1177/0954406217691554.
- [4] Wong, P.K., Wong, K.I., Vong, C.M., and Cheung, C.S., "Modeling and optimization of biodiesel engine performance using kernel-based extreme learning machine and cuckoo search," *Renew Energy* 74, 2015, doi:10.1016/j.renene.2014.08.075.
- [5] Ong, C.J., Sui, D., and Gilbert, E.G., "Enlarging the terminal region of nonlinear model predictive control using the support vector machine method," *Automatica* 42(6), 2006, doi:10.1016/j.automatica.2006.02.023.
- [6] Le, K., Bourdais, R., and Guéguen, H., "From hybrid model predictive control to logical control for shading system: A support vector machine approach," *Energy Build* 84, 2014, doi:10.1016/j.enbuild.2014.07.084.
- [7] Bieker, K., Peitz, S., Brunton, S.L., Kutz, J.N., and Dellnitz, M., "Deep model predictive flow control with limited sensor data and online learning," *Theor Comput Fluid Dyn* 34(4), 2020, doi:10.1007/s00162-020-00520-4.
- [8] Chen, S., Saulnier, K., Atanasov, N., Lee, D.D., Kumar, V., Pappas, G.J., and Morari, M., "Approximating Explicit Model Predictive Control

- 
- Using Constrained Neural Networks,” Proceedings of the American Control Conference, 2018, doi:10.23919/ACC.2018.8431275.
- [9] Valera García, J.J., Gómez Garay, V., Irigoyen Gordo, E., Artaza Fano, F., and Larrea Sukia, M., “Intelligent Multi-Objective Nonlinear Model Predictive Control (iMO-NMPC): Towards the ‘on-line’ optimization of highly complex control problems,” *Expert Syst Appl* 39(7), 2012, doi:10.1016/j.eswa.2011.12.052.
- [10] Bai, Y., “Studies on SI engine simulation and air/fuel ratio control systems design,” 2013.
- [11] Aliramezani, M., Koch, C.R., and Shahbakhti, M., Modeling, diagnostics, optimization, and control of internal combustion engines via modern machine learning techniques: A review and future directions, *Prog Energy Combust Sci* 88, 2022, doi:10.1016/j.pecs.2021.100967.

### 13. TENDINȚE DE DEZVOLTARE A MATERIALELOR UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIA AUTOVEHICULELOR

La nivel european, sectorul transporturilor emite aproape un sfert din cantitatea gazelor cu efect de seră și este principalul cauzator a poluării aerului în orașe. În plus, autovehiculele sunt responsabile pentru epuizarea uriașă a resurselor naturale pentru producția de materiale necesare în construcția autovehiculelor și a combustibililor fosili. În ultimii ani, producătorii de autovehicule au implementat mai multe soluții tehnice pentru a respecta cerințele legislației UE (2009/443/CE, 2000/53/CE, 2014/95/UE). Una dintre provocările cheie este reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. În acest sens, principalele strategii pentru a face față acestei probleme includ sisteme alternative de propulsie, reducere masei autovehiculelor și îmbunătățiri ale eficienței motorului [1].

Decizia în selectarea tipurilor de materiale utilizate precum componente în construcția și întreținerea autovehiculelor nu este realizată doar din punctul de vedere al condițiilor de exploatare, ci trebuie să se țină cont și de realitățile economice. Există două motive importante de ce selecția de materiale este necesară, și anume:

- ▶ reproiectare unui produs existent pentru a obține performanțe și fiabilitate mai ridicate, costuri mai mici de producție și masă mai redusă etc;
- ▶ realizarea unui nou produs dintr-un material selectat [2].

În același timp, industria automobilelor și constructorii de autovehicule sunt într-o continuă presiune în ceea ce privește cerințele legate de mediu, performanțe și reducerea consumului de combustibil. Cerințele impuse materialelor astfel încât să îndeplinească noile exigențe sunt:

- ▶ masă redusă – cel mai important criteriu în contextul reducerii emisiilor poluante și creșterii eficienței combustibililor;

- eficiență economică – costul materialului (ca materie primă) influențează posibilitatea de a fi selectat pentru utilizarea precum componentă/piesă destinată autovehiculelor;
- siguranță – are în vedere capacitatea de a absorbi energia generată în urma impactului prin modele și mecanisme controlate, astfel încât acestea să ofere siguranță pasagerilor în caz de coliziune;
- reciclarea și durata de viață – acest criteriu are în vedere reducerea consumului de resurse naturale și posibilitatea reciclării materialelor, inclusiv prin implementarea unor tehnici de dezvoltare a materialelor ușor reciclabile utilizate precum componente în construcția autovehiculelor [3].

Principalele materiale pentru fabricarea componentelor autovehiculelor sunt: oțelurile, aluminiul, magneziul, materialele plastice și compozitele (fig. 13.1).

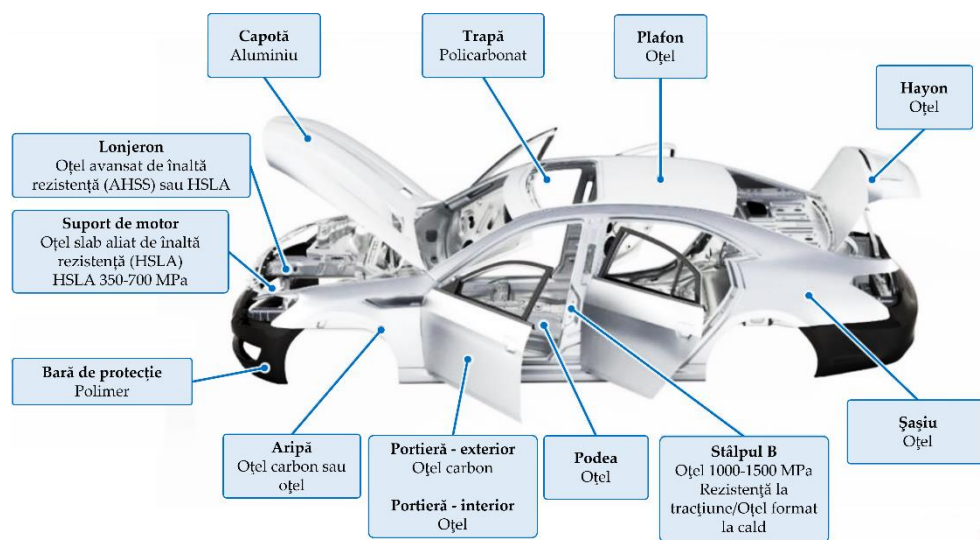


Fig. 13.1 Principalele materiale utilizate ca părți componente ale structurii autovehiculelor (adaptare după [4])

### 13.1. Oțeluri și fonte

Materialele feroase utilizate în construcția autovehiculelor sunt oțelurile și fontele. Principalele părți componente din structura autovehiculelor, formate din **oțeluri**, sunt: caroseria, mecanismul motor, șasiul, roțile, ușile, capota etc. adică majoritatea elementelor critice de siguranță ale structurii autovehiculelor.

Motivul principal pentru utilizarea **oțelului** pentru fabricarea structurii de rezistență a autovehiculului este capacitatea acestuia de a absorbi energia de impact în cazul unei coliziuni, iar cel secundar este legat de costurile relativ scăzute ale materialului [5]. Pentru a satisface într-o proporție cât mai mare exigențele legate de calitate, performanțele, siguranța și costul autovehiculelor, în ultimele două decenii, s-a dezvoltat noi clase de oțeluri avansate de înaltă rezistență (AHSS) sau slab aliate (HSLA), ce prezintă proprietăți mecanice îmbunătățite în ceea ce privește o combinație de înaltă rezistență/alungire comparativ cu oțelul moale (ductil) [6, 7].

În figura 13.2 se prezintă proprietățile mecanice ale claselor de oțeluri utilizate în industria autovehiculelor, descrise prin variația elongației în funcție de rezistența la tracțiune. Oțelurile cu conținut scăzut de carbon (cele moi și *intersitial-free* IF) prezintă o deformabilitate ridicată dar rezistența la tracțiune (rupere) este mai mică de 270 MPa. Oțelurile de înaltă rezistență, precum oțelurile slab aliate de mare rezistență (HSLA și aliate cu Mn) prezintă rezistență la tracțiune relativ mai mare (de obicei între 270 MPa și 700 MPa) dar alungire mai mică comparativ cu oțelurile cu conținut scăzut de carbon [6, 7]. Odată cu dezvoltarea recentă a proceselor de fabricație (de exemplu turnare avansată și tehnologiile termomecanice), noi generații de oțeluri cu microstructură multifazică au fost dezvoltate - oțeluri avansate de înaltă rezistență (AHSS). Din prima generație de AHSS fac parte oțelurile bifazice ferite și martensite (DP), oțelurile complexe formate din ferite, bainite, martensite, perlite și austenite (CP) și oțelurile cu plasticitate indusă de transformare (TRIP). Oțelurile AHSS prezintă rezistență ridicată (mai mare de 700 MPa) cât și deformabilitate ridicată (adică prezintă un echilibru

bun rezistență-ductilitate). Înlocuirea unui oțel moale cu HSS sau AHSS pentru fabricarea părților frontale ale autovehiculelor conduce atât la scădere masei totale a autovehiculelor, cât și la creșterea capacității de a absorbi energia de impact în cazul unei coliziuni [6, 7].

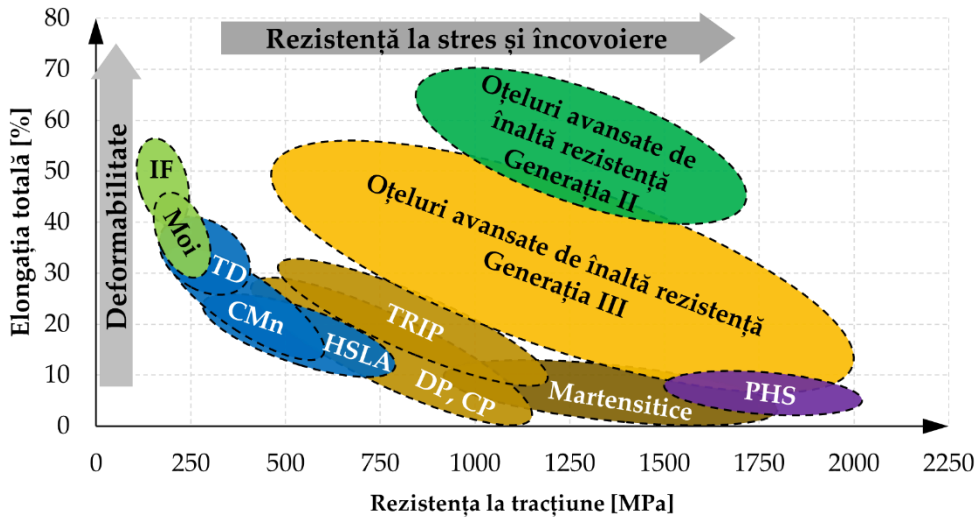


Fig. 13.2 Principalele clase de oțeluri utilizate în industria autovehiculelor (adaptare după [5])

Materialele utilizate pentru fabricarea pieselor mecanismului motor, compus din părțile mobile și fixe, sunt alese în funcție de solicitările termice și mecanice la care sunt supuse prin regimul de funcționare al motorului și sunt utilizate, în special, fontele și oțelurile [8].

Bolțul, biela și arborele cotit, utilizate ca părți mobile ale mecanismului motor, precum și carterul ca parte fixă, sunt fabricate din oțeluri aliate sau oțeluri carbon de calitate care trebuie să fie rezistente la șoc, oboseală și la rupere [8].

La alegerea materialelor pentru pistoane trebuie luate în considerare o serie de cerințe: rezistența la rupere ridicată la temperaturi maxime care apar în timpul funcționării și în timpul sarcinilor variabile, conductivitatea termică bună, coeficient de dilatare mic, densitate redusă, rezistență ridicată la uzură și coroziune, de aceea pistoanele sunt fabricate din **fonte**. Pistoanele realizate

din fontă prezintă rezistență la rupere și duritate ridicată, coeficient de dilatare mic, dar densitate ridicată. Pentru a satisface cerințele tehnice impuse segmentilor – etanșare și durabilitate - fonta este principalul material utilizat în fabricarea acestor piese mobile ale mecanismului motor. Deoarece solicitarea principală a unui segment este cea de încovoiere, modulul de elasticitate trebuie să fie ridicat. Prin utilizarea fontei cenușii perlitice cu grafit lamelar se asigură o bună comportare a segmentilor în exploatare, rezistența de rupere la încovoiere fiind de  $40 \text{ daN/mm}^2$ , modulul de elasticitate variază de la  $9000$  la  $12000 \text{ daN/mm}^2$ , iar duritatea este de  $200$  până la  $250 \text{ HB}$  [8].

### 13.2. Metale ușoare și aliaje

Utilizarea în industria autovehiculelor a metalelor și aliajelor, precum aluminiul și magneziul a avut o creștere substanțială, pe considerente legate de reducerea masei autovehiculelor.

**Aluminiul** și aliajele pe bază de aluminiu prezintă proprietăți excelente precum rezistență la tracțiune ridicată, densitate scăzută, rezistență ridicată la coroziune, conductibilitate termică și electrică bună și preț accesibil [3, 9]. Aluminiu este utilizat în construcția autovehiculelor la componente precum structura caroseriei, șasiu, uși, capote, etc [9, 10]. Cercetările recente au evidențiat faptul că  $50\%$  din masa structurii autovehiculelor poate fi redusă prin înlocuirea oțelului cu aluminiu [11]. Doar prin reducerea masei unui autovehicul cu  $100 \text{ kg}$  conduce la scăderea consumului de combustibil cu  $0,3\text{--}0,5 \text{ l/100 km}$  și deci cantitatea de  $\text{CO}_2$  emisă scade cu  $8\text{--}11 \text{ g/100 km}$ . În viitor, construcția componentelor auto din aluminiu va crește ceea ce va conduce și la un potențial economic mai mare în ceea ce privește reciclare componentelor autovehiculelor scoase din uz [12]. De asemenea, aliajele de aluminiu cu conținut ridicat de siliciu, sunt utilizate pentru fabricarea unor componente mobile ale mecanismului motor precum pistoanele deoarece prezintă o densitate de 3 ori mai redusă decât fonta și prezintă o conductivitate termică mai ridicată [8].

**Magneziul** și aliajele cu magneziu sunt mai ușoare cu 33% decât aluminiu și cu 75% decât oțelul dar prezintă dezavantaje legate de proprietățile fizico-chimice, necesitând astfel proiectare specială pentru utilizarea componentelor din aceste materiale în construcția autovehiculelor. Deși rezistența lui la tracțiune este aproximativ aceeași precum a aluminiului, magneziul și aliajele cu magneziu prezintă rezistență la oboseală și la fluaj scăzute, precum și rezistență la coroziune redusă [6, 13]. În prezent, magneziul și aliajele cu magneziu sunt utilizate la fabricarea componentelor din construcția autovehiculelor precum: carter, galerii de admisie, distribuitor pentru pompa de ulei, jante, etc. [13].

În tabelul 13.1 se prezintă avantajele și dezavantajele materialelor clasice și avansate utilizate precum componentele la care sunt utilizate în construcția autovehiculelor [5].

*Tabelul 13.1 Avantajele și dezavantajele materialelor clasice și avansate utilizate precum componente în construcția autovehiculelor [4]*

<b>Materiale</b>	<b>Oțeluri ductile/Oțeluri avansate</b>	<b>Aluminiu</b>	<b>Magneziu</b>
Utilizare	Elemente de rezistență, șasiu, părți ale blocului motor	Părți ale blocului motor, cilindrii și pistoane, panouri din caroserie	Structura interioară a portierelor, cadrele scaunelor, roți, galerii de admisie
Avantaje	Rezistență ridicată, capacitate de absorbție a energiei de impact, accesibile	Ușoare, rezistență la coroziune, reciclabile, eficiente energetic	Cel mai ușor dintre metale contribuind astfel la reducerea consumului de combustibil
Dezavantaje	Grele în comparație cu alte materiale	Intoleranță la temperaturi ridicate	Temperatură de topire scăzută, reactiv cu metalele, rezistență la coroziune și uzură scăzută



### 13.3. Materiale plastice

Materialele folosite la construcția autovehiculelor au cunoscut îmbunătățiri continue și ponderea acestora s-a modificat în favoarea celor ce impun tehnologii mai performante, ce conduc la realizarea de componente/piese mai ușoare, mai durabile, mai confortabile, mai ieftine și cu posibilități de reciclare.

În medie, din masa totală a unui autovehicul, ponderea materialelor plastice a crescut în ultimii 30 de ani de 5-6 ori (fig. 13.3). De exemplu, din masa totală a unui autovehicul, procentul de materiale plastice a crescut continuu de la 6% în anul 1970, la 16% în 2010, ajungând la 18% în 2020 [2, 3].

În funcție de modificările pe care materialele plastice le suferă în timpul formării la cald prin presare, injecție, extrudare, respectiv din punctul de vedere al proprietăților termomecanice, acestea se clasifică în termoplaste, elastomeri și duromeri (fig. 13.4) [14, 15].

Principalul aspect în alegerea materialelor plastice de înaltă performanță în raport cu alte materiale utilizate în construcția componentelor autovehiculelor sunt funcționalitatea acestora și fabricarea mai economică, precum și densitate redusă. Se estimează că prin reducerea cu 10% a masei vehiculului, se reduce cu 5% până la 7% a consumului de combustibil [16].

Aproximativ 80% din materialele plastice utilizate în construcția autovehiculelor constau în cinci tipuri de materiale: poliuretani (PU), policlorură de vinil (PVC), polipropilenă (PP), acrilonitril-butadienă stiren (ABS), compozite cu matrice organică. Restul de 20% sunt polietilene (PE), poliamide (PA), poliacrilați (rășini) și policarbonați (PC) [16].

**Poliuretanii** sunt polimeri versatili, ce pot prezenta caracteristici atât termoelastice cât și termorigide, în funcție de aplicații. Dacă se utilizează ca elastomeri, la temperatura mediului ambiant se regăsesc într-o stare elastică, sunt predominant amorfi, se pot întinde sau comprima, iar la încetarea unei acțiuni mecanice pot reveni la forma inițială. Din poliuretan se pot realiza componente precum anvelope, perne de aer pentru suspensie, spume pentru

scaune auto. Dacă se utilizează precum termorigizi, prezintă caracteristicile unor duromeri, respectiv au grad de reticulare ridicat, proprietăți mecanice și chimice bune și coeficient de dilatare termică mic. Prezentând aceste proprietăți, pot fi utilizați ca materiale izolatoare sub formă de spume rigide sau componente din material plastic dur/tare cum ar fi bara de protecție [14, 16, 17].

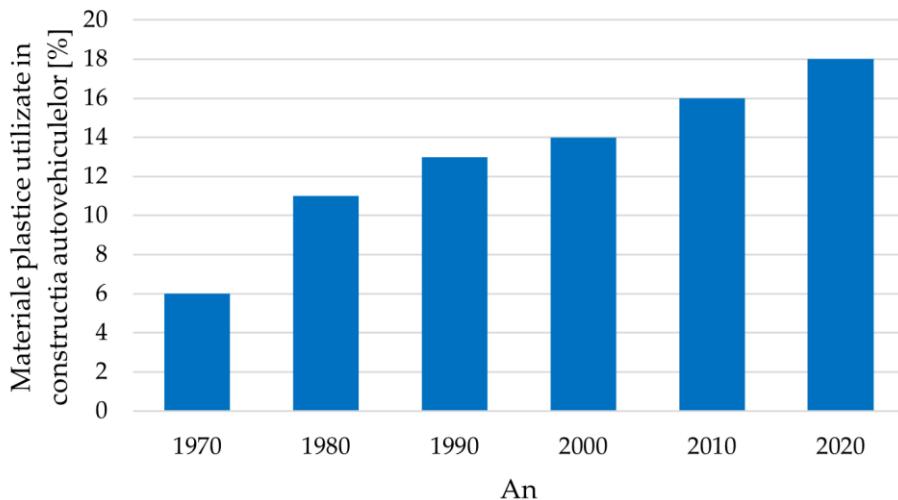


Fig. 13.3 Evoluția ponderii în timp a MP utilizate în construcția autovehiculelor (adaptare după [14])

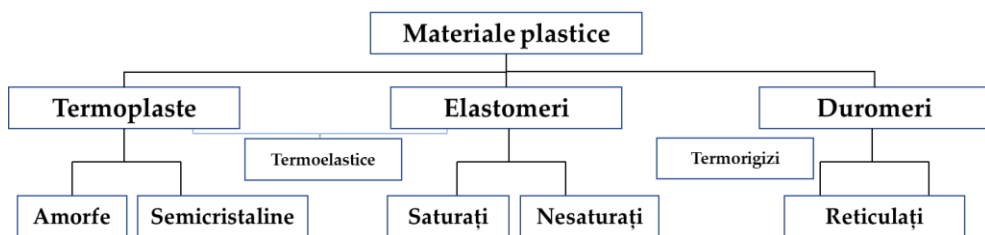


Fig. 13.4 Clasificarea materialelor plastice (adaptare după [13])

**Policlorura de vinil** este un termoplast ce se poate prelucra prin injecție, extrudare și calandrare și este caracterizat prin proprietăți precum: flexibilitate ridicată ce depinde de cantitatea de plastifiant adăugată, rezistență ridicată la agenți chimici și solvenți, stabilitate termică ridicată și este neinflamabil. Pe baza proprietăților, PVC-ul este utilizat în industria

autovehiculelor pentru fabricarea pieselor precum manta pentru cablajele electrice, conducte, rezervoare, etc. [16, 17].

Proprietățile **polipropilenei** cum ar fi rezistența mecanică bună, rigiditate ridicată, densitate scăzută, rezistența chimică și la radiație ultravioletă ridicată, impermeabilitate la apă, îl face să fie cel mai utilizat polimer ca material ușor. În industria autovehiculelor se utilizează pentru fabricarea unor piese precum bare de protecție, rezervoare, izolație pentru cablaje, cutii de baterii, covoare auto, canistre pentru combustibili [16, 17].

**Acrilonitril-butadienă stirenii** sunt termoplaste durabile, deoarece prezintă rezistență ridicată la temperaturi înalte, la impact și la acțiunea substanțelor chimice, proprietăți îmbunătățite prin adăugare de stabilizatori, de aceea se utilizează la fabricarea componentele precum bordul autovehiculului, aripa autovehiculelor, huse și căptușeli [14, 16, 17].

**Compozitele cu matrice organică** folosesc ce mai frecvent polimerii termorigizi armați cu fibre de sticlă sau carbon cu scopul de a crește performanțele acestora prin combinarea proprietăților celor două tipuri de materiale. Ca exemplu, **fibrele de sticlă** prezintă rigiditate ridicată, pe când duromerii prezintă rezistență ridicată la impact. Deci, compozitului cu matrice organică, ce depinde de raportul fibre/polimer, poate avea proprietăți ce prezintă o rigiditate mai ridicată decât cea a aluminiului și, în același timp, proprietăți mecanice asemănătoare cu cele ale oțelurilor [16, 17, 18].

**Fibrele de carbon** și compozitele din fibre de carbon prezintă modul de elasticitate și rezistență mecanică ridicate, nu ruginesc sau nu se corodează precum aluminiu sau oțelul, dar costurile de producție a acestor materiale sunt de cel puțin 20 de ori mai ridicate decât în cazul oțelului, iar industria autovehiculelor este prea puțin probabil să le folosească până când prețul fibrei de carbon nu scade semnificativ. Compozitele cu matrice organică pot fi utilizate precum componente în construcția autovehiculelor ca: structura scaunelor, bare de protecție, capote hayonul, șasiul, capotă, aripă, plafon, și rezervoare de combustibil, etc. [3, 5,13].

### **13.4. Concluzii**

În industria autovehiculelor sunt folosite diverse materiale precum oțelurile, aluminiul, magneziul, materialele plastice și compozite cu matrice organică. Principalele proprietăți în selectarea materialelor utilizate în construcția autovehiculelor includ rezistența mecanică, chimică și termică, simplitatea proceselor de fabricație, durabilitatea, ținând cont și de costurile și disponibilitatea materiei prime.

Înlocuirea materialelor convenționale, cu materiale moderne mai ușoare și mai performante, se dovedește a fi o strategie eficientă în reducerea masei autovehiculelor, reducerea consumului de combustibil al autovehiculelor, precum și diminuarea poluării mediului înconjurător.

### 13.5. Bibliografie

- [1] Delogu, M., Zanchi, L., Dattilo, C.A., and Pierini, M., "Innovative composites and hybrid materials for electric vehicles lightweight design in a sustainability perspective," *Mater Today Commun* 13, 2017, doi:10.1016/j.mtcomm.2017.09.012.
- [2] Miller, L., Soulliere, K., Sawyer-Beaulieu, S., Tseng, S., and Tam, E., Challenges and alternatives to plastics recycling in the automotive sector, *Materials* 7(8), 2014, doi:10.3390/ma7085883.
- [3] Todor, M.P. and Kiss, I., "Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient," *Applied Engineering Letters* 1(4), 2016.
- [4] Center for Automotive Research, "Technology Roadmaps: Intelligent Mobility Technology, Materials and Manufacturing Processes, and Light Duty Vehicle Propulsion," *The ASHA Leader* 22(6), 2017.
- [5] Fentahun, M.A. and Savas, M.A., "Materials Used in Automotive Manufacture and Material Selection Using Ashby Charts," *International Journal of Materials Engineering* 8(3), 2018, doi:10.5923/j.ijme.20180803.02.
- [6] Pantilimon, M.C., "Concepte Moderne Privind Oțelurile Pentru Structura De Rezistență a Autovehiculelor Rutiere," 2020.
- [7] Zhang, W. and Xu, J., Advanced lightweight materials for Automobiles: A review, *Mater Des* 221, 2022, doi:10.1016/j.matdes.2022.110994.
- [8] Bataga, N., Burnete, N., Cazila, A., Rus, I., Sopa, S., and Teberean, I., "Motoare cu Ardere interna," Editura Didactica si Pedagogica, ISBN 973-30-4922-0, 1995.
- [9] Sivanur, K., Umananda, K. V., and Pai, D., "Advanced materials used in automotive industry-a review," *AIP Conference Proceedings*, 2021, doi:10.1063/5.0036149.

- 
- [10] \*\*\* European Aluminium, "Aluminium Automotive Manual," <https://european-aluminium.eu/blog/aluminium-automotive-manual/>, Apr. 2023.
  - [11] \*\*\* "Lecture 5 Criteria of car selections," [https://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication\\_2\\_5571\\_6172.pdf](https://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication_2_5571_6172.pdf), Apr. 2023.
  - [12] Yang, C., Zhang, L., Chen, Z., Gao, Y., and Xu, Z., "Dynamic material flow analysis of aluminum from automobiles in China during 2000–2050 for standardized recycling management," *J Clean Prod* 337, 2022, doi:10.1016/j.jclepro.2022.130544.
  - [13] Han, C., "Research on the Development and Application of Lightweight Automotive Materials," *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, doi:10.1088/1742-6596/1676/1/012085.
  - [14] Patil, A., Patel, A., and Purohit, R., "An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications," *Materials Today: Proceedings*, 2017, doi:10.1016/j.matpr.2017.02.278.
  - [15] \*\*\* Robert Bosch GmbH, "Bosch Automotive Handbook, 10th Edition," Wiley, 2018.
  - [16] Hovorun, T.P., Berladir, K. V., Pererva, V.I., Rudenko, S.G., and Martynov, A.I., "Modern materials for automotive industry," *Journal of Engineering Sciences* 4(2):f8–f18, 2017, doi:10.21272/JES.2017.4(2).F8.
  - [17] Ghosh, M., Ghosh, A., and Roy, A., "Renewable and Sustainable Materials in Automotive Industry," *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 2020, doi:10.1016/b978-0-12-803581-8.11461-4.
  - [18] Mohammadi, H., Ahmad, Z., Mazlan, S.A., Faizal Johari, M.A., Siebert, G., Petru, M., and Rahimian Koloor, S.S., "Lightweight Glass Fiber-Reinforced Polymer Composite for Automotive Bumper Applications: A Review," *Polymers (Basel)* 15(1), 2023, doi:10.3390/polym15010193.