

Universitatea POLITEHNICA din București

Facultatea de Transporturi

Ing. Gheorghe BANCĂ

**CERCETĂRI PRIVIND SISTEMELE DE
DEPOLUARE ALE AUTOVEHICULELOR
ECHIPATE CU GMP-HYBRID**

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

**Conducător științific:
*Prof.univ.em.dr.ing. Gheorghe FRĂȚILĂ***

BUCUREȘTI 2019

CUPRINS

INTRODUCERE. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	11
Motivare pentru alegerea temei	13
1 POLUAREA CHIMICĂ A ATMOSFEREI	14
1.1 Definirea termenului de poluare.....	14
1.2 Efecte induse	14
a) Intensificarea efectului de seră.....	14
b) Calitatea aerului	14
1.3 Formarea emisiilor poluante ale MAI pentru autotrisme	14
1.3.1 Emisiile poluante specifice MAS.....	15
a) Originea hidrocarburilor nearse (HC)	15
b) Originea monoxidului de carbon (CO)	15
c) Originea oxizilor de azot (NOx)	15
d) Originea particulelor mecanice (PM).....	16
1.3.2 Emisiile poluante specifice MAC	16
a) Originea hidrocarburilor nearse (HC)	16
b) Originea monoxidului de carbon (CO)	17
c) Originea oxizilor de azot (NOx)	17
d) Originea particulelor mecanice (PM).....	17
1.4 Alți poluanți ai MAI pentru autotrisme	17
1.5 Praguri nocive	18
1.6 Norme de poluare pentru limitarea emisiilor autovehiculelor rutiere	18
1.7 Cicluri de testare.....	19
BIBLIOGRAFIE	20
2 STADIUL ACTUAL PRIVIND REDUCEREA EMISIILOR POLUANTE LA AUTOVEHICULE ECHIPATE CU MAI	21
2.1 Stadiul actual dat de regulamentele europene	21
2.1.1 Sistemele de depoluare la MAS	21
2.1.1.1 Injecția indirectă de benzină.....	22
2.1.1.2 Injecția directă de benzină (GDI).....	22
2.1.1.3 Catalizatorul cu trei căi (TWC).....	22
2.1.1.4 Alte sisteme utilizate EGR, GPF.....	23
a) EGR-ul (recircularea gazelor arse) la MAS	23
b) GPF-ul (filtrul de particule la MAS).....	24
2.1.2 Sistemele de depoluare la MAC.....	24
2.1.2.1 Sistemul de injecție directă Common Rail.....	25
2.1.2.2 EGR-ul (recircularea gazelor arse) la MAC.....	25
2.1.2.3 Catalizatorul de oxidare la MAC (două căi)	26
2.1.2.4 Filtrul de particule la MAC (FaP-ul sau DPF-ul).....	26
2.1.2.5 Catalizatoare pentru reducerea NOx-ului la MAC (NOx-Trap-ul și SCR-ul) .	27
BIBLIOGRAFIE	28
3 STUDIUL PARTICULARITĂȚILOR CONSTRUCTIV – FUNCȚIO-NALE ALE AUTOVEHICULELOR ECHIPATE CU GMP HYBRID	30
3.1 Scurt istoric al autovehiculului hybrid (electric).....	30
3.2 Necesitatea hibridizării.....	30
3.3 Stocarea energiei, tipuri de arhitecturi și principii de funcționare.....	31

3.4	Gestionarea optimă a energiei	31
BIBLIOGRAFIE		33
4	METODE ȘI MIJLOACE DE CERCETARE EXPERIMENTALĂ.....	35
4.1	Prestațiile implicate în punerea la punct a unui autovehicul hibrid.....	35
4.2	Tipuri de încercări pentru cercetarea experimentală a autovehiculelor hibride	35
4.3	Mijloacele de încercare	36
4.3.1	Bancul motor staționar (BMS)	36
4.3.2	Bancul motor dinamic (BFD sau BHD).....	36
4.3.3	Bancul cu rulouri (BaR) pentru testarea emisiilor poluante.....	37
4.4	Analizoare utilizate pentru măsurarea emisiilor poluante	37
4.4.1	Analizorul de CO și CO ₂ (NDIR)	37
4.4.2	Analizorul de NO _x (CLD).....	38
4.4.3	Analizorul de HC sau THC (FID)	38
4.4.4	Analizorul de oxigen (PMD).....	38
BIBLIOGRAFIE		39
5	MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A UNUI AUTOVEHICUL ECHIPAT CU UN GMP HYBRID.....	40
5.1	Necesitatea modelării numerice și platforme de simulare.....	40
BIBLIOGRAFIE		42
6	CERCETAREA EXPERIMENTALĂ PENTRU UN AUTOVEHICUL ECHIPAT CU UN GMP HYBRID	43
6.1	Realizarea încercărilor	43
6.1.1	Rezultatele cercetării experimentale pe BaR după ciclul WLTC la 22°C	44
BIBLIOGRAFIE		44
7	CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI TENDINȚE VIITOARE DE CERCETARE.....	45
7.1	Concluzii rezultate în urma simulărilor realizate	45
7.2	Contribuții personale	46
7.3	Tendențe viitoare de cercetare	47

LISTĂ DE ABREVIERI, SIMBOLURI CHIMICE ȘI UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Abrevieri:

ACEA – Asociația Constructorilor Europeni de Automobile;
AdBlue – Soluție apoasă pe bază de uree;
AER – Autonomie în mod electric (All Electric Range);
Airparif – Asociația agreată de urmărire a calității aerului (Franța);
AMESim - Advanced Modeling Environment Simulations;
BaR – Banc cu Rulouri (Banc a Rouleaux);
BC – Carbon negru (Black carbon);
BFD – Banc motor cu dinamică scăzută (Banc Faible Dynamique);
BHD – Banc motor cu dinamică ridicată (Banc Haute Dynamique);
B-ISG – Belt-Driven;
BLDC – Motor electric fără perii de curent continuu (Brushless Direct Current Motor);
Blow-By – Scăpări gaze de carter;
BlueHDI – MAC Cammon-Rail cu SCR (AdBlue High-pressure Direct Injection);
BMEP – Presiunea medie efectivă la frână (Brake Mean Effective Pressure);
BMS – Banc motor staionar (Banc Moteur Stationnaire);
CAFE – Corporate Average Fuel Economy;
CAN – Controller Area Network;
CFD – Computational Fluid Dynamics;
CFV – Critical Flow Venturi;
C-ISG – Crankshaft-Mounted;
CLD – Analizor cu Detector prin Chemiluminiscentă;
Common Rail – Sistem de injecție directă de înaltă presiune cu rampă comună la MAC;
COV – Compuși organici volatili;
CPE – Volet sau clapetă de evacuare (în franceză Contre Pression Echapement);
CRS – Common Rail System;
CRT – Coeficient de Regenerare Termică (franceză Coefficient de Regeneration Thermique);
CVA – Cutie de Viteze Automată;
CVM – Cutie de Viteze Manuală;
CVS – Sistem de diluție cu debit total (din engleză, Constant Volume Sampling)
DCT – Cutie de viteză dublu ambreiaj (pentru Renault și alți constructori);
DCU – Calculator dozare uree;
Delphi DFI – Delphi Diesel Fuel Injector;
DI – Injecție directă la MAC;
DiagRA – Program (soft) de măsurare, calibrare, diagnoză, dezvoltat de RA Consulting;
DIM – Direcție Inginerie Mecanică;
DOC – Diesel Oxidation Catalyst;
DPF – Filtru de particule Diesel (Diesel Particulate Filter în engleză);
DSG – Cutie de viteză dublu ambreiaj (pentru VW);
ECE – Elementary Cycle European sau UDC – Urban Driving Cycle;
ECMS – Strategie de minimizarea a consumului echivalent (Equivalent Consumption Minimization Strategy);
ECU – Unitate electronică de comandă (Electronic Control Unit);
EEA – Agenția Europeană a Mediului (European Environmet Agency);
EGR – Recircularea gazelor arse (Exhaust Gas Recirculation);
EN 1822:2009 – Clasă pentru standarde filtre curățire aer;
EPA – Environmental Protection Agency;

ESM – Energy System Management;
ET – Volet sau clapetă de evacuare (în engleză Exhaust Throttle);
EUDC – Extra Urban Driving Cycle;
FaP – Filtru de particule Diesel (Filtre a Particule în franceză) idem DPF;
FID – Analizor cu Detector de Ionizare a Flăcării;
FSI – Injecție directă de benzină cu amestecuri stratificate (Fuel Stratified Injection);
FTP – Federal Test Procedure;
GDI – Injecție directă de benzină (Gasoline Direct Injection);
GM – General Motors;
GMP – Grup Moto Propulsor;
GPF – Filtru de particule benzină (Gasoline Particulate Filters);
HAP – Hidrocarburi Aromatice Policiclice (toxice, cancerigene cu efecte mutagene, anexa 1);
HC – Hidrocarburi nearse (toxice);
HEV – Autovehicul hibrid electric (Hybrid Electric Vehicle);
HEVC – Unitate electronică de comandă pentru autovehicule hibride (Hibrid Electric Vehicle Control);
HEVD – Autovehicul echipat cu un sistem de propulsie diesel electric hibrid;
HIL – Hardware In the Loop;
I2C – Individual Injector Correction;
I3C – Improved Individual Injector Code Correction;
ICCT – International Council on Clean Transportation;
IDI – Injecție indirectă la MAC;
IFP – Institutul Francez de Petrol;
IN – Injecție normală (mod de ardere specific funcționării normale la MAC);
INCA – Program (soft) de măsurare, calibrare, diagnoză, dezvoltat de ETS;
IP – Înaltă Presiune (în franceză, HP – Haut Pression);
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
ISG – Integrated Starter Generator;
IT – Volet sau clapetă de admisie (în engleză Inlet Throttle);
Japanese 10-15 Mode – Vechiul ciclu japonez de testare;
JC08 – Japan Cycle (ciclu de testare japonez utilizat între 2011 și 2018);
JP – Joasă Presiune (în franceză, BP – Base Pression);
KERS – Kinetic Energy Recuperation System;
LNRCAs – Laboratorul Național de Referință pentru Calitatea Aerului;
MAC – Motor cu Aprindere prin Comprimare;
MAI – Motor cu Ardere Internă;
MAS – Motor cu Aprindere prin Scânteie;
Mel – Motor electric;
MPI – Injecție multipunct de benzină (Multi Point Injection);
MSSplus – AVL Micro Soot Sensor;
MVEM – Mean Value Engine Model;
NDIR – Analizor cu Absorbție NonDispersivă în Infraroșu;
NEDC – New European Driving Cycle, sau NMVEG ;
NiMH – Hidrură Metalică de Nichel (baterie pe bază de Hidrură Metalică de Nichel);
NMHC – Non Metan Hydrocarbon;
NMVEG – New motor vehicle emissions group;
NMVOC – Compuși organici volatili fără metan (Non-methane volatile organic compounds);
NOx-Trap – catalizator de reducere NOx;
OBD – Diagnosticare îmbarcată la bordul autovehiculului (On Board Diagnostic);
OMS – Organizația Mondială a Sănătății;
PD – Programare dinamică (Dynamic Programming);
P_{dif} – Presiune diferențială;

PDP – Positive Displacement Pump;
PE – Putere electrică;
P-HEV – Autovehicul hibrid reîncărcabil (Plug-In Hybrid Electric Vehicle);
PM – Particule mecanice sau pulberi în suspensie (Particule de Matière în franceză);
PM₁₀ – Particule mecanice cu diametrul de 10µm;
PM_{2,5} – Particule mecanice cu diametrul de 2,5µm;
PMD – Analizor cu Detector Paramagnetic;
PMH – Punct mort superior (din franceză Point Mort Haut);
PMS – Punct mort superior;
PMSM – Motor sincron cu magneți permanenți (Permanent Magnet Synchronous Motor);
ppb – Pați pe miliard (parts per billion în engleză, Xppb = Xppm · 1000);
PPS-M – Pegasor Particle Sensor - Measurement;
PSA – Grupul Peugeot Citroën;
R – Coeficient de îmbogățire (Richesse în franceză sau Richness în engleză);
RAC – Rotație Arbore Cotit;
RDE – Ciclul real de conducere pentru verificare emisii (Real Driving Emission);
RG – Regenerare (mod de ardere specific funcționării în regenerare FaP la MAC);
R_H – Raport de hibridizare;
RNMCA – Rețeaua Națională de Monitorizare a Calității Aerului (România);
RPA – Accelerație pozitivă relativă (Relative Positive Acceleration);
SC03 – Ciclul american de testare cu aer condiționat;
SCR – Catalizator de reducere selectivă (Selective Catalytic Reduction);
SDP – Programare dinamică stohastică (Stochastic Dynamic Programming);
SFTP – Supplemental Federal Test Procedure;
SOC – Starea de încărcare a bateriei (State Of Charge);
SPI – Injecție monopunct de benzină (Single Point Injection);
SRM – Motor electric cu reluctanța comutată (Switched Reluctance Motor);
SSV – Subsonic Venturi;
SUA – Statele Unite ale Americii;
TCU – Unitate electronică de comandă transmisie (Transmission Control Unit);
TEOM – Tapered Element Oscillating Microbalances;
THC – Total Hidrocarbon;
THS – Toyota Hybrid System;
T_{intrare} – Temperatură de intrare;
TWC – Three Way Catalyst;
TX – Transmisie;
UDC – Urban Driving Cycle;
UDDS – Urban Dynamometer Driving Schedule;
UE – Uniunea Europeană;
UFM – Ultrasonic Flow Meter;
UNECE – United Nations Economic Commission for Europe;
US06 – Ciclul american agresiv de testare;
VDCS – VAG-COM Diagnostic System;
VP – Vehicule particulare;
VW – Grupul Volkswagen;
WCAC – Water Charge Air Cooling;
WLTC – Worldwide harmonized light vehicles test cycle;
WLTP – Worldwide harmonized light vehicles test procedures.

Simboluri chimice:

Al₂O₃ – Oxid de aluminiu (alumină);

Ba – Bariu;
Ba(NO₃)₂ – Nitrat de bariu;
BaO – Oxid de bariu;
C₆H₆ – Benzen;
C₇H₈ – Toluen;
C₈H₁₀ – Xilen;
Ca – Calciu;
CH₄ – Metan (efect de seră, inflamabil);
CO – Monoxid de carbon (toxic);
CO(NH₂)₂ – Uree;
CO₂ – Dioxid de carbon (efect de seră);
Cu – Cupru;
Fe – Fier;
H₂ – Hidrogen;
H₂O – Apă;
H₂S – Hidrogen sulfurat (inflamabil, toxic și periculos pentru mediu);
H₂SO₄ – Acid sulfuric (toxic, coroziv și periculos pentru mediu);
HNCO – Acid izocianic;
HNO₃ – Acid azotic (toxic, coroziv și oxidant);
2Mg-Al₂O₃-5SiO₂ – Cordierit;
N₂ – Azot;
N₂O – Protoxid de azot;
NH₃ – Amoniac (toxic);
NO – Monoxid de azot (toxic, coroziv și oxidant);
NO₂ – Dioxid de azot (toxic, coroziv și oxidant);
NO₃⁻ – Azotat sau nitrat;
NO_x – Oxizi de azot, în principiu ne referim doar la (NO + NO₂);
O₂ – Oxigen;
O₃ – Ozon;
P – Fosfor;
Pb – Plumb;
Pd – Paladiu;
Pt – Platină;
Rh – Rodiu;
S – Sulf;
SiC – Carbură de siliciu;
SO₂ – Dioxid de sulf (toxic);
SO₄²⁻ – Sulfat;
SO_x – Oxizi de sulf;
Zn – Zinc;
Zr – Zirconiu.

Unități de măsură:

Å – Angstrom (1Å = 0.1 nm);
atm – 1 atmosfera fizică (1,013bar = 1,013·10⁵Pa);
bar – unitate de măsură pentru presiune (1bar = 10⁵ Pascal = 10⁵ N/m²);
°C – grad Celsius (unitate de măsură pentru temperatură);
CP – cal putere (1CP ≈ 0,736kW);
g – gram (10⁻³Kg);
μg/m³ – micrograme pe metru cub;
Hz – Hertz, unitate de măsură a frecvenței (1Hz = 1/s);

kW – kiloWatt (subunitate de măsură a puteri $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ Watt} = 10^3 \text{ J/s}$);
mbar – subunitate de măsură pentru presiune ($1 \text{ mbar} = 10^{-3} \text{ bar} = 10^2 \text{ N/m}^2$);
mg – miligram ($10^{-3} \text{ g} = 10^{-6} \text{ Kg}$);
mg/m³ – miligrame pe metru cub;
min – minut ($1 \text{ min} = 1/60 \text{ ore}$);
mm – milimetru ($1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$);
ms – mili secundă (10^{-3} s);
nm – nanometru ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-3} \mu\text{m}$);
Nm – Newton metru (unitate de măsură pentru cuplu sau moment);
rad/s – unitate de măsură pentru viteza unghiulară în SI;
rpm – unitate de măsură a vitezei ungiulare (utilizată în tehnică pentru turație);
tr/min – unitate de măsură tehnică a vitezei ungiulare (utilizată în tehnică pentru turație);
 μm – micrometru ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$).

”Generația noastră este prima ale cărei decizii vor hotărî dacă Pământul va rămâne o planetă locuibilă sau nu. Dacă talazurile stârnite de interesul public nu vor sta la temelia unor schimbări profunde, nu vom putea să inversăm tendințele care subminează viitorul copiilor noștri”.

(Lester Brown, Starea lumii 1991) [1]

Prefață

Ca urmare a complexității subiectului ce a stat la baza redactării acestei teze, realizarea încercărilor experimentale necesitând mijloace speciale de încercare, ea s-a desfășurat în perioada Oct. 2014 – Sept. 2019 în cadrul Universității Politehnica din București.

În primul rând pe această cale doresc să îmi exprim profunda recunoștință și să aduc cele mai calde mulțumiri domnului prof. univ. em. dr. ing. Gheorghe FRĂȚILĂ, conducătorul științific al acestei lucrări, care cu înaltă competență și exigență mi-a îndrumat pașii în anii de doctoratură.

În al doilea rând doresc să aduc mulțumirile mele Școlii Doctorale TRANSPORTURI și cadrelor didactice din Departamentul Autovehicule Rutiere pentru sugestiile și sprijinul științific acordat în toată această perioadă.

Totodată, doresc să mulțumesc fostului meu dascăl, domnului prof. univ. dr. ing. Florian IVAN de la Universitatea Pitești, pentru indicațiile date, privirea obiectivă și încrederea acordată manifestate constant pe tot parcursul realizării studiilor doctorale.

De asemenea sentimentele mele de recunoștință se îndreaptă spre dascălii din cadrul Facultății de Mecanică și Tehnologie din Pitești care m-au format ca inginer într-un domeniu extrem de captivant precum acela al autovehiculelor rutiere.

În același timp aduc mulțumiri colegiilor mei din cadrul DIM RTR (Direcție Inginerie Mecanică Renault Technologie Roumanie), domnul ing. Alexandru PANDI, domnul ing. Christophe POINTARD, domnul ing. Ștefan – Valentin POPESCU și în mod special domnului ing. Tudor – Gabriel PETRESCU, Șef de Departament Control Motor și Punere la Punct, pentru înțelegere și facilitarea accesului la realizarea încercărilor.

Nu în ultimul rând, gândurile de mulțumire se îndreaptă spre membrii familiei mele pentru înțelegerea de care au dat dovadă în această perioadă și pentru sprijinul moral acordat în perioadele dificile.

*Drd. ing. Gheorghe BANCĂ
București, septembrie 2019*

INTRODUCERE. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Fenomenele ecologice majore și crizele petroliere ale secolului XX au determinat diferite organisme naționale și internaționale să adopte măsuri de combatere a efectelor nefaste ale poluării asupra climatului prin limitarea drastică a gazelor toxice emise în atmosferă și a celor cu efect de seră. La acestea se adaugă emisiile poluante provenite prin ardere, al căror efect poate fi foarte nociv pentru sănătate (iritații ale căilor respiratorii, cancere, etc.) și mediu, sectorul transporturilor rutiere reprezentat de către autovehiculele echipate cu motoare termice fiind direct impactat.

Deși automobilele echipate cu MAI au înregistrat progrese remarcabile în ultimii 30 de ani din punct de vedere al performanțelor ecologice și economice creșterea continuă a cererii de autoturisme noi, împreună cu păstrarea în circulație a celor care au depășit pragul numărului de kilometrii impus prin limitele de depoluare pe care constructorul trebuie să se asigure că autovehiculul îl respectă (160 000km pentru normele Eu5 și Eu6) conduc la o intensificare alarmantă a efectului de seră și o degradare continuă a calității aerului. Pentru a avea un ordin de mărime în susținerea celor afirmate, numărul de autovehicule noi intrate în circulație la nivel mondial în anul 2018 a fost de aproximativ 79 de milioane, iar totalul de automobile existente la nivel mondial depășește 1,2 miliarde, estimându-se că până în 2035 se va ajunge la peste 2 miliarde de autovehicule, dintre care 2,5% vor fi electrice iar 8% hibride.

În acest context ameliorarea randamentului MAI și utilizarea rațională a acestuia pe autovehicul au condus astăzi la adoptarea unor soluții tehnice precum hibridizarea electrică a autoturismelor, tehnologie ce cunoaște astăzi un real succes, soluția fiind implementată de majoritatea constructorilor auto.

Data fiind complexitatea concepției, dezvoltării și optimizării acestor soluții tehnice, utilizarea platformelor de calcul numerice permit studiul simulării de noi materiale, arhitecturi sau strategii de gestionare a energiei. Cea mai mare parte a constructorilor și universităților implicate în cercetarea și dezvoltarea autovehiculelor de tip hibrid utilizează și propun modele numerice pentru componente ale grupului moto propulsor (a se vedea IFP School - Franța).

Pornind de la această ipoteză, obiectivul principal al tezei este acela de a face un studiu teoretic prin simulare numerică folosind platforma AMESim a două versiuni de GMP hibrid, MAC Hibrid respectiv MAS Hibrid, studiind impactul asupra economicității și ecologicității autovehiculului. Studiul permite simularea diferitelor strategii de gestionare a energiei, pornind de la starea de încărcare a bateriei și realizează corecții cu scopul reducerii emisiilor poluante și a consumului de carburant prin adaptarea în funcție de temperatura lichidului de răcire.

Cel de-al doilea obiectiv îl reprezintă, verificarea experimentală la bancul cu rulouri a studiului teoretic, pentru modelul realizat, prin efectuarea a două încercări, una pe ciclul NEDC iar cea de-a doua pe noul ciclu de testare WLTC.

Sub aspectul îndeplinirii obiectivelor teza este structurată în șapte capitole prezentate sumar în paragrafele următoare:

Capitolul 1. POLUAREA CHIMICĂ A ATMOSFEREI, prezintă o descriere a conceptului de poluare chimică atmosferică, origini și consecințe, prezentarea efectului de seră, noțiuni despre calitatea aerului și problema reducerii emisiilor poluante, poluanții produși în MAI și mecanismele formării acestora. La finalul capitolului sunt prezentate noțiuni despre praguri nocive, limitele impuse prin normele europene de depoluare precum și principalele cicluri de încercare utilizate la nivel mondial.

Capitolul 2. STADIUL ACTUAL PRIVIND REDUCEREA EMISIILOR POLUANTE LA AUTOVEHICULE ECHIPATE CU MAI, sintetizează stadiul actual al sistemelor de depoluare pentru autovehicule echipate cu MAI, evidențiind atât sistemele de depo-

luare la sursă, în special sistemul de injecție, sistemul de recirculare al gazelor arse cât și sistemele de depoluare la evacuare (post-tratare), convertorii catalitici, filtrul de particule.

Capitolul 3. STUDIUL PARTICULARITĂȚILOR CONSTRUCTIV – FUNCȚIONALE ALE AUTOVEHICULELOR ECHIPATE CU GMP HYBRID, abordează istoria automobilului electric și a autovehiculului hibrid într-un prim subcapitol, evidențiază necesitatea hibridizării. De asemenea se prezintă principiul de funcționare cu arhitecturile de hibridizare existente și gestionarea utilizării energiei stocate în baterii.

Capitolul 4. METODE ȘI MIJLOACE DE CERCETARE EXPERIMENTALĂ descrie prestațiile implicate în punerea la punct a unui autovehicul hibrid, mijloacele de cercetare experimentală, bancul motor staționar, bancul cu dinamică scăzută, bancul cu dinamică ridicată, bancul cu rulouri precum și analizoarele de gaze utilizate.

Capitolul 5. MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A UNUI AUTOVEHICUL ECHIPAT CU UN GMP HYBRID prezintă rezultatele modelării și simulării numerice prin realizarea unei comparații între cele două cicluri de testare NEDC și WLTC pentru un autovehicul echipat cu un motor Diesel, impactul adoptării unei cutii de viteze dublu ambreiaj, modelarea performanțelor ecologice și economice ale unui autovehicul echipat cu un GMP Diesel-Hibrid. Se analizează performanțele economice și ecologice privind regimurile tranzitorii ale ciclului european de conducere (NMVEG) și analiza influenței regimurilor de accelerare specifice ciclului de încercare WLTC asupra consumului de carburant și al emisiilor poluante.

În acest sens, prin modelare matematică, pentru un autovehicul echipat cu un GMP hibrid, se estimează performanțele ecologice date de emisiile poluante HC, CO, NO_x și PM, respectiv performanțele economice reprezentate de cumulul consumului de combustibil (CO₂).

Capitolul 6. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ PENTRU UN AUTOVEHICUL ECHIPAT CU UN GMP HIBRID evidențiază și analizează rezultatele încercărilor realizate pe ciclurile de testare NMVEG și WLTC la bancul cu rulouri pentru un autovehicul echipat cu un GMP hibrid reîncărcabil, în comparație cu cele obținute prin modelare matematică folosind platforma de simulare AMESim.

Capitolul 7. CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI TENDINȚE VIITOARE DE CERCETARE este capitolul final prezentând concluziile rezultate în urma studiului realizat prin cercetarea soluțiilor tehnice existente la momentul actual, contribuțiile personale precum și perspective de cercetare cu elemente de noutate ce pot conduce la atingerea unor obiective irealizabile astăzi cu tehnologia actuală a MAI, din punct de vedere al economicității și ecologicității.

Motivare pentru alegerea temei

Transportul cu ajutorul automobilului, prin dezvoltarea sa considerabilă a ultimilor 30 de ani pentru țările industrializate și în prezent a țărilor emergente BRIC (Brazilia, Rusia, India și China), constituie o sursă de emisii poluante gazeose, sau de particule (în cazul MAI, atât pentru MAC cât și pentru MAS cu injecție directă) ce nu poate fi neglijată astăzi. Lucrarea de față își propune să trateze efectul global al transportului rutier din prisma impactului autovehiculelor rutiere asupra poluării atmosferice.

Este cunoscut faptul, că atât energia consumată pentru proiectarea, fabricarea, utilizarea cât și distrugerea autovehiculului conduce la emisii de dioxid de carbon și a altor gaze ce cresc „efectul de seră”, figura 1.1.

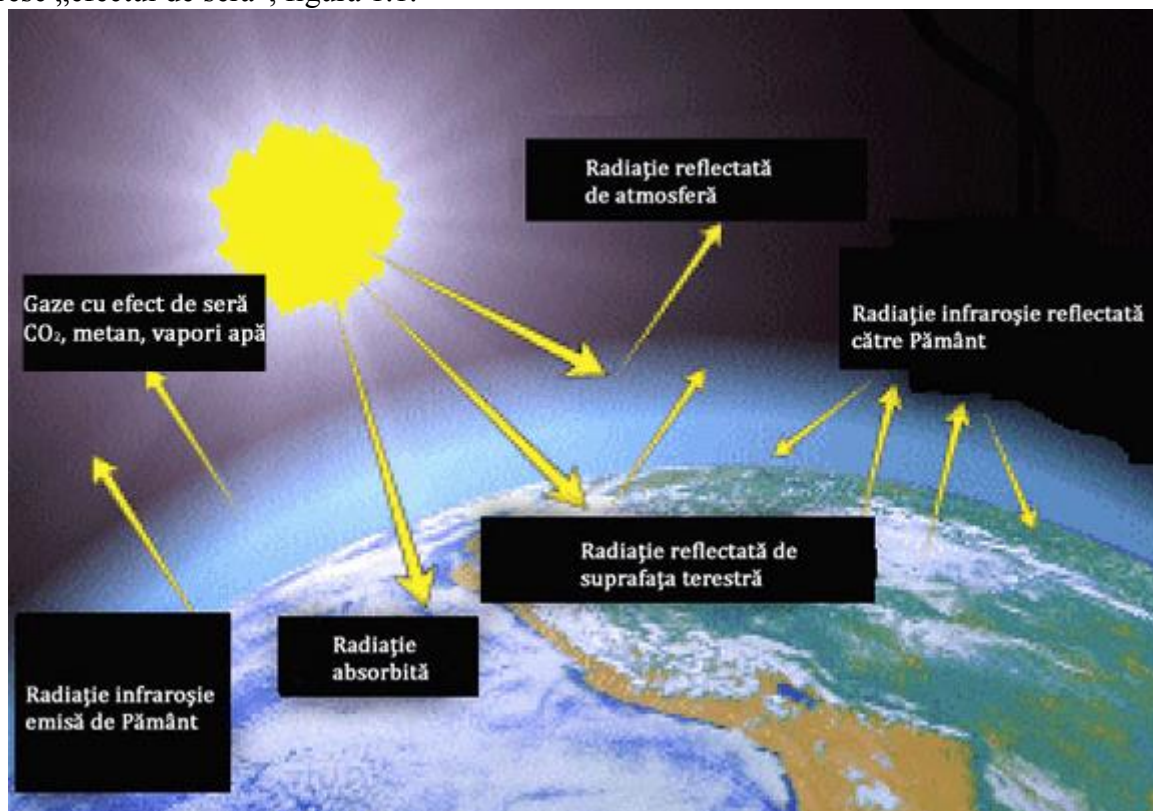


Figura 1.1. Descrierea fenomenului „efectul de seră” [2]

Dacă din punct de vedere teoretic, problema apariției emisiilor poluante, de natură să altereze mediul ambiant (CO, CO₂, NO_x), poate fi legată istoric de perioada în care omul a stăpânit - descoperit focul (anii 790 000 – 400 000 înainte de Hr.), primii mari poluatori au apărut o dată cu revoluția industrială (secolul XIX), însă conștientizarea efectelor nefaste datorate poluării a avut loc foarte târziu, undeva la jumătatea secolului XX, după două evenimente extrem de tragice: „Ceața mortală” - un episod de poluare al lunii decembrie 1930 petrecut în valea Meuse [3] apropiere de Seraing (Belgia), soldat cu o mortalitate excesivă de 10,5% în rândul locuitorilor (peste 60 de persoane în 3 zile comparativ cu o perioadă normală) și „Marele Smog” - Londra 1952, unde și-au pierdut viața între 4000 și 5000 de oameni, (prin afecțiuni cardiovasculare și respiratorii), efectele negative resimțindu-se pe termen lung (prin diverse tipuri de cancer și tulburări neurologice) [4]. Din 5 până pe 9 decembrie, poluarea aerului a atins valori ridicate cu un maxim în zilele de 7 și 8 decembrie unde s-a înregistrat o concentrație de 700ppb¹ la 24 ore pentru dioxid-ul de sulf (SO₂) și de 1600mg/m³ fum negru.

¹ 1ppb = 1000ppm.

1 POLUAREA CHIMICĂ A ATMOSFEREI

1.1 Definirea termenului de poluare

Declarația Consiliului Europei din anul 1967 definește poluarea chimică a atmosferei astfel: „Poluarea aerului există atunci când avem o substanță străină sau o variație importantă în proporția și constituenții săi, ce creează o jenă sau este susceptibilă de a provoca efecte dăunătoare, ținând cont de cunoștințele științifice ale momentului” [7].

1.2 Efecte induse

Efectele negative induse de poluarea chimică a atmosferei sunt:

a) Intensificarea efectului de seră

Efectul de seră este un termen folosit pentru a evidenția contribuția anumitor gaze emise natural sau artificial la încălzirea atmosferei terestre prin modificarea permeabilității atmosferei la radiațiile solare reflectate de suprafața terestră. Acest fenomen a fost descris pentru prima dată de matematicianul (fizicianul) francez Joseph Fourier în 1824 și din nou în 1827, arătând că atmosfera are un rol important la încălzirea planetei [9]. În absența gazelor cu efect de seră temperatura medie a Pământului ar fi fost de -18°C , cu aproximativ 33°C [10] mai mică decât în lipsa lor. Efectul de seră este astfel responsabil de încălzirea suficientă a planetei pentru a permite apariția fotosintezei și dezvoltarea plantelor așa cum le cunoaștem noi astăzi, acesta implicând toate straturile atmosferei.

b) Calitatea aerului

În ceea ce privește poluarea chimică a atmosferei problema principală o reprezintă calitatea aerului, care a scăzut considerabil în ultimi ani, în zonele urbane din cauza supra-aglomerării orașelor și a expansiunii transporturilor rutiere.

Potrivit unor estimări ale OMS, peste șapte milioane de oameni mor, anual, din cauza poluării chimice a atmosferei. Organizația a atras atenția că o problemă reală pentru sănătate o constituie inclusiv poluarea aerului din locuințe [13].

Lipsa aerului curat poate avea efecte negative asupra întregului organism, pornind de la tulburări ale somnului, creșterea afecțiunilor respiratorii (bronșiolite, rino-faringite), degradarea funcției ventilatorii (scăderea capacității respiratorii, exces de tuse și astm), o hipersecreție bronșică, creșterea iritării oculare, degradarea imunității organismului la infecțiile microbiene, până la dezvoltarea unor tumori canceroase pe termen lung prin efectele mutagene și cancerigene ale PM și C_6H_6 .

1.3 Formarea emisiilor poluante ale MAI pentru autoturisme

Începând cu secolului XX, unul dintre cele mai importante mijloace de transport ale civilizației umane a devenit autoturismul echipat cu motor termic, acesta reușind în ultimii 50 de ani să-și amplifice rolul jucat prin siguranță, confort și performanțe dinamice remarcabile. În ultimii 25 de ani pe plan mondial, deși autovehiculul a realizat progrese semnificative, din cauza impactului negativ pe care acesta îl are asupra mediului înconjurător, expansiunea autoturismului echipat cu MAI este încetinită, căutându-se soluții atât pentru a reduce energia consumată în faza de fabricație și scoatere din uz dar mai ales în exploatare, acesta fiind o

sursă de emisii chimice poluante greu de combătut. Se precizează faptul că energia consumată se traduce în emisii de CO₂ și alți poluanți nocivi mediului înconjurător, aceasta, obținându-se în principal prin arderea de combustibili fosili (hidrocarburi, cărbune, petrol sau gaze naturale).

1.3.1 Emisiile poluante specifice MAS

Deși MAS este cunoscut ca fiind „unul curat” problemele ce survin ca urmare a unei arderi incomplete, fac din acesta o sursă importantă de poluare, ce a intrat în atenția organismelor internaționale responsabile cu limitarea poluării. Principalele substanțe nocive emise în gazele de evacuare ale unui MAS sunt: HC, CO și NO_x-ul, acestea fiind puternic influențate de calitatea amestecului (îmbogățire). PM se găsesc în cantități extrem de reduse pentru motoare cu injecție indirectă însă pentru un motor cu injecție directă de benzină acestea devin semnificative.

✚ a) Originea hidrocarburilor nearse (HC)

Principalele cauze ce conduc la prezența în gazele de evacuare a hidrocarburilor nearse sunt: răcirea locală intensă a amestecului prin stingerea flăcării la perete, arderea incompletă ca urmare a calității amestecului (amestecuri aproape de limita de inflamabilitate), diluarea excesivă a amestecului cu gaze arse (EGR extern/intern), volumele moarte din cilindru, absorbția rezidurilor de ardere (calamină), absorbția și desorbția compușilor combustibilului la nivelul filmului de ulei și metoda de preparare a amestecului (injecție directă/injecție indirectă – mono sau multipunct). Fenomenul de răcire locală prin stingerea flăcării la perete (SFP) se explică prin stratul limită format de pereții camerei de ardere, ce au temperaturi relative mici. În cazul depresiunilor scăzute (sarcini medii și mari), proporția de gaze reziduale este mică, flacăra cuprinzând în întregime amestecul până ajunge la stratul limită a cărui grosime este de 0,2...0,6mm, unde se stinge din cauza temperaturii scăzute [20].

✚ b) Originea monoxidului de carbon (CO)

Monoxidul de carbon apare în gazele de evacuare ca urmare a arderii incomplete, determinată de lipsa oxigenului din amestecul admis în cilindru, controlul cantității de CO emise făcându-se în primul rând prin ajustarea coeficientului excesului de aer (λ). Motorul cu aprindere prin scânteie fiind caracterizat de zona amestecurilor stoichiometrice, respectiv bogate ($\lambda < 1$), sensibilitatea emisiilor de CO este mare, concentrația de CO din gazele de evacuare crescând liniar cu îmbogățirea amestecului, aproximativ cu 3,5% pentru o reducere a coeficientului excesului de aer cu 0,1 unități, [20].

✚ c) Originea oxizilor de azot (NO_x)

Este cunoscut faptul că în gazele de evacuare ale motorului cu ardere internă se găsesc oxizi de azot, considerați ca fiind o substanță nocivă prin efectele directe sau indirecte pe care le are asupra sănătății omului. În condiții de temperaturi ridicate (peste 2000 °C), oxigenul și azotul din aer intră în reacție formând monoxidul de azot NO, devenind un compus stabil ce nu revine la elementele constituente N₂ și O₂ atunci când temperatura scade. În prezența oxigenului, NO se poate oxida treptat transformându-se în NO₂, care este un precursor al ozonului și astfel contribuie la poluarea aerului (NO₂ conferă un pic de culoare roșie a atmosferei deasupra marilor orașe și are efect de seră [21]).

d) Originea particulelor mecanice (PM)

Datorită faptului ca MAS-ul funcționează cu amestecuri omogene, emisiile de particule mecanice sunt în general scăzute la MAS cu IDI, acestea nefiind reglementate până la apariția normei EURO 5. Probleme deosebite ce au necesitat introducerea sistemelor de post-tratare pentru PM la MAS au apărut o dată cu adoptarea ID, ca urmare a funcționării acestuia cu amestecuri eterogene.

Particulele mecanice provin din hidrocarburi ce au 10...25 atomi de carbon și un număr aproximativ dublu de atomi de hidrogen. La baza formării particulelor stă piroliza, un proces complex ce presupune următoarele tipuri de reacții [21]:

- reacții de dehidrogenare;
- reacții de cracare;
- reacții de polimerizare;
- reacții de condensare.

Reacțiile de cracare au loc la temperaturi înalte, iar la temperaturi mai reduse se realizează polimerizarea și condensarea. Particulele sunt produse astfel în urma a două etape distincte și anume: formarea nucleelor (faza de formare a precursorilor) și formarea propriu-zisa a particulelor. Mecanismul este complex și până astăzi incomplet cunoscut din punct de vedere cantitativ.

Cea mai mare tendință de formare a particulelor o au hidrocarburile aromate, procesul de formare decurgând foarte rapid (particulele ating dimensiuni de 500-1000 Å în mai puțin de 10 ms). Hidrocarburile poliaromatice și hidrocarburile poliacetilenice sunt precursorii mecanismului de formare al particulelor. La temperaturi de 1500...1800 K se formează compuși policiclici iar la 1800-2000 K vor rezulta precursori de natură acetilenică care polimerizează și vor forma nucleul inițial al particulei [21].

1.3.2 Emisiile poluante specifice MAC

Motorul cu aprindere prin comprimare are în general aceiași poluanți precum MAS-ul, ponderea lor fiind diferită, aceasta putând fi explicată prin principiul de funcționare al MAC-ului, formarea amestecului, modului în care are loc arderea și natura carburantului.

Din punct de vedere cantitativ pentru motorul Diesel, cele mai importante emisii poluante și cele mai greu de contracarat sunt oxizii de azot (NO_x) și particulele (PM), după care urmează monoxidul de carbon (CO) și hidrocarburile (HC). Pentru motoarele Diesel o importanță deosebită trebuie acordată și nivelului relativ mare produs de zgomotul de ardere.

Pentru motoarele cu injecție directă în varianta cu aspirație naturală apar emisii specifice maxime de HC și CO, iar în varianta cu supraalimentare, emisii specifice maxime de NO_x. Motoarele de tip M2 se plasează spre limita inferioară atingând emisii specifice ale celorlalte motoare cu injecție directă. Cele mai reduse emisii sunt produse de motoarele cu camera de ardere divizată.

a) Originea hidrocarburilor narse (HC)

În mod normal emisiile de HC și de CO pentru MAC nu constituie o problemă atât de critică precum în cazul MAS, deoarece arderea se derulează în mediu global oxidant și tratarea gazelor de evacuare cu ajutorul unui catalizor de oxidare două căi plasat pe linia de

² Cu procedeul Meurer de formare a amestecului, aplicat de exemplu la motoarele MAN.

evacuare este posibilă. În motoarele cu aprindere prin scânteie o parte din HC provine din carburantul ce se situează în zonele „reci” ale camerei de ardere, și din fenomenul adsorbție/desorbție în lubrifiantul depus pe pereții cilindrului. Nu este cazul motorului Diesel unde lângă cilindru se află aer sau gaze arse.

✚ b) Originea monoxidului de carbon (CO)

CO la MAC se datorează unui amestec deficitar în oxigen ($\lambda \leq 0,97$), fie local (zone unde aerodinamica camerei de ardere este inefficientă, o proastă pulverizație, etc.) caz în care emisiile de CO sunt în general însoțite și de o creștere a emisiilor de HC, fie global dacă excesul de aer nu este suficient, precum în cazul sarcinii pline, unde cu un raport mare de EGR creșterea de CO este însoțită de creșterea fumului (PM).

✚ c) Originea oxizilor de azot (NOx)

Precum în cazul MAS la temperaturi ridicate de peste 2000°C, oxigenul și azotul din aer reacționează pentru a forma monoxidul de azot NO, care nu se descompune în N₂ și O₂ la scăderea temperaturii. Dacă oxigenul este prezent, NO-ul se poate oxida progresiv rezultând NO₂ ce este un precursor al ozonului și participă astfel la poluarea atmosferică.

Contrar cazului MAS, arderea la motorul Diesel este eterogenă, în consecință dacă același amestec este foarte sărac, se găsesc întotdeauna zone de încărcare gazoasă unde amestecul este în apropierea condițiilor stoichiometrice, deci favorabil formării oxizilor de azot. În teorie, cantitatea oxiziilor de azot formată este proporțională cu cantitatea de carburant injectat, independent de îmbogățirea globală, contrar MAS, unde amestecul aer-carburant este complet efectuat înaintea arderii. În mod practic se poate înțelege de ce pentru cazul motorului cu aprindere prin comprimare, se utilizează unitatea NOx/g combustibil consumat.

✚ d) Originea particulelor mecanice (PM)

Pentru cazul MAC, temperaturi cuprinse între 1500 și 2000K în amestecuri bogate sunt inevitabil des întâlnite, ceea ce conduce la formarea unei mari cantități de particule. Din moment ce arderea în motorul Diesel este eterogenă, amestecuri bogate sunt întâlnite local.

La originea numelor date diferiților constituenți, a stat metoda de analiză, astfel distingându-se:

➤ SOF – *Soluble Organic Fraction*, reprezintă fracția rezultată din disocierea cu un solvent organic, diclorometan putându-se descompune în hidrocarburi provenite din carburant (SOF – motorină) și în hidrocarburi provenite din lubrifiant (SOF – ulei);

➤ IOF – *Insoluble Organic Fraction*, reprezintă fracțiuni insolubile în solvent organic, acestea conținând în special carbon dar și sulfați, particule rezultate din aditivii carburantului sau lubrifiantului.

În încheiere pentru a stabili sensibilitatea diverșilor parametri este necesară o înțelegere fizică corectă a procesului formării particulelor și interacțiunea cu fluxul turbulent de lichid.

1.4 Alți poluanți ai MAI pentru autotrisme

Carburanții s-au schimbat dramatic în timp, în special pentru reducerea emisiilor poluante. Anumite elemente chimice, care au fost utilizate prin adăugarea de aditivi în hidrocarburi, sunt astăzi interzise. Plumb, în special, pentru a mări cifra octanică de benzină (rezistență la detonație), este extrem de toxic pentru mediul înconjurător și poate afecta catalizatorul sistemului de post-tratare. Acesta (catalizatorul) este acum prezent pe orice autovehicul din zilele noastre. În mod similar, sulful prezent în combustibili, a dus inițial la

formarea dioxidului de sulf, care, o dată dizolvat în apă ajunge în nori sub forma micropicăturilor de apă, acesta stând la originea producerii acidului sulfuric din atmosferă declanșator al ploilor acide.

Smogul fotochimic este o ceață [20] caracteristică anumitor regiuni geografice (statul California din S.U.A., Tokio, Iran). Denumirea provine de la combinarea a două cuvinte englezești: smoke (fum) + fog (ceață). Smogul fotochimic se formează într-o atmosferă uscată, sub acțiunea razelor solare. Substanțele considerate răspunzătoare pentru producerea smogului fotochimic sunt hidrocarburile și oxizii de azot. Smogul este iritant pentru căile respiratorii și ochi, reduce vizibilitatea și devine un pericol pentru traficul rutier.

Chimia smogului fotochimic este extrem de complexă chiar și numai pentru faptul că există în aer peste 200 de compuși distincți ai hidrocarburilor. Dată fiind complexitatea reacțiilor și ansamblul factorilor care le influențează, mecanismul de formare a smogului nu se cercetează direct în atmosferă. În acest sens au fost imaginat camere de smog care simulează atmosfera în condiții bine determinate. Într-o asemenea cameră se introduc un număr de lămpi care reproduc spectrul și intensitatea luminii solare. Camera de smog este umplută inițial cu aer, oxid de azot și hidrocarburi (în mod obișnuit cu o singură hidrocarbură, ceea ce subliniază avantajul experimentului) în proporții similare celor din atmosferă. Apoi se declanșează lumina și se urmărește evoluția substanțelor inițiale.

Smogul umed are o acțiune sufocantă și se formează la temperaturi mici sub 4°C, într-o atmosferă umedă, principalele substanțe participante fiind particulele mecanice, oxizii de azot și oxidul de carbon, acesta fiind cauza „Marelui Smog” - Londra 1952.

1.5 Praguri nocive

Substanțele nocive din atmosferă sunt dăunătoare sănătății numai atunci când concentrațiile lor depășesc un nivel maxim admisibil al concentrației într-un interval de timp, acesta numindu-se prag nociv [20]. Este necesar să se cunoască pragurile nocive, deoarece pe această baza urmează să se definească nivelul admisibil al emisiilor poluante provenite din diferite surse. Cu toate acestea, stabilirea pragurilor nocive constituie o problemă greu de soluționat, deoarece nu se pot determina, prin remedieri nemijlocite, concentrațiile maxime admisibile pentru om. Unele informații de care se dispune au fost obținute fie prin experimentele pe animale, fie din constatările efectuate în cazul unor accidente. Din această cauză pragurile nocive sunt adeseori controversate.

Concentrațiile substanțelor în atmosferă sunt extrem de reduse. Această împrejurare a stimulat dezvoltarea tehnicii experimentale de măsurare. Astfel s-a adoptat și o scară specială de măsurare a pragurilor nocive [20]. În mod obișnuit acestea se definesc prin numărul de centimetri cubi de substanță nocivă raportat la un metru cub de aer (sau 1.000.000cm³ aer). Întrucât 1 cm³ reprezintă a milioana parte dintr-un m³ s-a convenit ca unitatea de măsură să reprezinte o parte pe un milion sau prescurtat ppm: 1ppm=1cm³/m³. Concentrațiile mai mari se exprimă de obicei în procente, între cele două scări existând următoarea relație:

$$10\ 000\text{ppm} = 10\ 000 \cdot \frac{1\ \text{cm}^3}{1\ 000\ 000\ \text{cm}^3} = \frac{1}{100} = 1\%.$$
 (1.24)

1.6 Norme de poluare pentru limitarea emisiilor autovehiculelor rutiere

Pentru prima dată, în 1970 Uniunea Europeană a introdus reglementări cu privire la măsurarea emisiilor poluante ale autovehiculelor rutiere, la început pentru aprobare și mai apoi pentru aplicare la vehiculele comercializate. Reglementarea a primit numărul 70/220 care

a devenit generică pentru toate modificările și amendamentele ce au intervenit ulterior. Prima măsură a vizat emisiile de monoxid de carbon (CO), urmând apoi măsurile pentru reducerea hidrocarburilor nearse (HC) și oxizilor de azot (NOx).

Echiparea autovehiculelor cu un convertizor catalitic trifuncțional a fost posibilă abia atunci când s-a început comercializarea benzinei fără plumb în anul 1987. Acesta a reușit, reducerea drastică a emisiilor tuturor vehiculelor pe benzină în 1993. Este etapa denumită ca norma EURO 1. Dezvoltarea carburanților, a proceselor de ardere internă și de post-tratare a emisiilor poluante a permis introducerea normelor EURO 2 ianuarie 1996 și EURO 3 aplicabile de la 1 ianuarie 2000.

1.7 Cicluri de testare

Se știe că pentru normele europene în funcție de norma de poluare vizată ciclul de testare utilizat diferă, astfel putem avea:

- ciclul NEDC pentru normele Euro 1 ... Euro 6b inclusiv;
- ciclul WLTC pentru normele Euro 6c, Euro 6d - Temp și Euro 6.

În cazul normelor americane, cunoscute ca fiind unele dintre cele mai severe norme de poluare pentru testarea autovehiculelor, se utilizează:

- ciclul FTP - 72;
- ciclul FTP - 75;
- ciclul SFTP - SC03;
- ciclul SFTP - US06.

Până la apariția procedurii de testare WLTP normele de testare japoneze utilizau:

- ciclul 10-15 Mode Cycle până în octombrie 2011;
- ciclul JC08 din octombrie 2011 până în 2018.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Irena Mocanu*. Curs Dezvoltare durabilă 2015;
- [2] ***Efectul de seră. Disponibil la: <https://www.scientia.ro/univers/40-terra/57-efectul-de-sera.html> accesat la data de 15.07.2019;
- [3] ***Pollution de la vallée de la Meuse. Disponibil la: https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_la_valle_de_la_Meuse accesat la data de 15.07.2019;
- [4] ***Marele Smog din 1952. Disponibil la: https://ro.wikipedia.org/wiki/Marele_Smog_din_1952 accesat la data de 15.07.2019.
- [5] ***Ploaia acidă. Disponibil la: https://ro.wikipedia.org/wiki/Ploaia_acid%C4%83 accesat la data de 16.07.2019.
- [6] *** IUP Ingénierie de la Santé Écotoxicologie – Pollution atmosphérique, slide 67. Disponibil la: <https://slideplayer.fr/slide/9454706/28/images/67/Degradation+des+monuments.jpg> accesat la data de 16.07.2019.
- [7] *Anne Jaecker - Voirol*, Phenomenes atmospheriques, origines et consequences, IFP Training – Formation Renault, 2013.
- [8] *** POLUAREA AERULUI. Disponibil la: https://mail.uaic.ro/~marius.mihasan/teaching/pdfs/environmental_chemistry_courses/CURS%204.pdf accesat la data de 17.07.2019.
- [9] *** Jean Baptiste Joseph Fourier. Disponibil la: https://ro.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier accesat la data de 17.07.2019.
- [10] *** Încălzirea globală. Disponibil la: https://ro.wikipedia.org/wiki/Încălzirea_globală#Efectul_de_seră accesat la data de 17.07.2019.
- [11] *** La couche limite atmosphérique. Disponibil la: <http://www.areelis.fr/documentation-couche-limite-atmospherique-43.html> accesat la data de 17.07.2019.
- [12] *** Atmosfera Pământului. Disponibil la: https://ro.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_Pămîntului accesat la data de 17.07.2019.
- [13] *** Efectele poluării asupra sănătății. Disponibil la: <http://www.infomediului.eu/eco-news/8889-efectele-polurii-asupra-sănătății> accesat la data de 18.07.2019.
- [14] *** Calitate aer Rețeaua Națională de Monitorizare a Calității Aerului. Disponibil la: <http://www.calitateaer.ro/public/home-page/locale=ro> accesat la data de 18.07.2019.
- [15] *** Air quality in Europe – 2018 – European Environment Agency. Disponibil la: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018> accesat la data de 19.07.2019.
- [16] *Walsh, P. Michael*, Global Trends in Motor Vehicle Pollution Control – Accomplishments to Date and Challenges Ahead, FISITA World Automotive Congress, Helsinki, 2002, Paper F02R097.
- [17] *Liță, D.*, CONTRIBUȚII PRIVIND CONLUCRAREA OPTIMIZATĂ A MOTORULUI CU APRINDE-RE PRIN SCÂNTEIE CU SISTEMELE DE DEPOLUARE, Teză, Pitesti 2012.
- [18] *John B. Heywood*, Internal combustion engines, McGraw-Hill, Inc., 1990.
- [19] *Crestois, L.*, Combustion, ENSPM-Formation Industrie, Pitesti, 2010.
- [20] *Grunwald, B.*, Teoria, calculul și construcția motoarelor pentru autovehicule rutiere, Ed. Didactică și Pedagogică din București, 1980.
- [21] *Ivan, F., Liță D., Bușoi A.*, METODE ȘI MIJLOACE DE DEPOLUARE A MOTOARELOR PENTRU AUTOTURISME, Ed. MATRIX ROM, București, 2014.
- [22] *** Do you know your Euro 6 from your 6c and 6d-TEMP? Disponibil la: <https://www.fleeteurope.com/fr/new-energies-taxation-and-legislation/europe/features/do-you-know-your-euro-6-your-6c-and-6d-temp?a=DQU04&t%5B0%5D=Diesel&t%5B1%5D=RDE&t%5B2%5D=Euro%206d&t%5B3%5D=WLTP&t%5B4%5D=Euro%206d%20TEMP&t%5B5%5D=EVAP&t%5B6%5D=Taxation%20Guide&curl=1> accesat la data de 31.07.2019.
- [23] *** Normes Euro 6: comment s’y retrouver ? Disponibil la: https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards accesat la data de 31.07.2019.
- [24] *** The different driving cycles. Disponibil la: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/> accesat la data de 31.07.2019.

2 STADIUL ACTUAL PRIVIND REDUCEREA EMISIILOR POLUANTE LA AUTOVEHICULE ECHIPATE CU MAI

2.1 Stadiul actual dat de regulamentele europene

Este cunoscut faptul că reglementările europene privind reducerea emisiilor poluante sunt astăzi printre cele mai stricte din lume. În general, emisiile totale au fost divizate în medie de aproximativ 10 ori, de la stabilirea primelor standarde europene de emisii din anul 1992 (Euro 1). Luând exemplul MAC, la autovehicule noi, pentru norma Euro 6 introdusă în septembrie 2014, limitele au atins cote de emisii apropiate de cele ale MAS-ului. Acest lucru este și mai evident în cazul emisiilor de particule pentru autovehiculele echipate cu MAC din ultimii 20 de ani, unde acestea au fost divizate de aproximativ 30 de ori, cel mai important progres fiind înregistrat, o dată cu introducerea în premieră mondială a filtrului de particule (FaP) în anii 2000, de către grupul PSA (Peugeot Citroën) și declarat ca fiind obligatoriu 9 ani mai târziu odată cu introducerea normei Euro 5, în septembrie 2009.

Astăzi emisiile de particule trebuie să se situeze sub pragul de 4,5mg/km. Mai mult de atât, tehnologia BlueHDi, bazată pe reducerea catalitică selectivă (SCR) lansată de PSA Peugeot Citroën a permis, începând cu 2017, reducerea cu până la 90% a emisiilor de NO_x, acest lucru datorându-se dezvoltării unei rețele de distribuție de AdBlue în conformitate cu reglementările Euro 6c. Motoarele Diesel dezvoltate de constructori precum PSA Peugeot Citroën, Renault dar și alții, datorită tehnologiilor menționate mai sus (FaP și NO_x-Trap plus SCR) sunt astăzi foarte ecologice, respectând aceleași norme precum MAS-urile. MAC-ul păstrează un avantaj asupra MAS-ului pentru că folosește cu 25% mai puțin combustibil și emite cu 15% mai puțin CO₂. Este o pârgie importantă pentru atingerea pragului de 95g de CO₂ în Europa anilor 2020 și respectarea țintei dată de CAFE.

Diminuarea emisiilor poluante nu răspunde doar reglementărilor, imaginea și sănătatea publică traducându-se în alegerea tipului de motorizare și de post-tratare specifică, ținând cont de următoarele criterii:

- MAS: ameliorarea randamentului fără penalizarea post-tratării;
- MAC: alegerea tehnologiei de post-tratare fără a penaliza randamentul;
- raportul prestație/preț.

În continuare vor fi descrise atât pentru MAS cât și pentru MAC sistemele cu un impact major asupra emisiilor la sursă, cu precădere sistemul de injecție dar și sistemele de post-tratare în ordinea cronologică a evoluției normelor de depoluare.

2.1.1 Sistemele de depoluare la MAS

Studiul sistemelor de depoluare la MAS cuprinde prezentarea sistemelor cu impact major asupra economicității și ecologicității autovehiculelor, precum:

- injecția indirectă de benzină (monopunct și multipunct);
- injecția directă de benzină;
- catalizatorul cu trei căi;
- alte sisteme utilizate opțional (EGR) sau obligatorii conform legislației (GPF).

După modul de formare al amestecului, injecția electronică de benzină se poate clasifica în injecție indirectă pentru amestecuri omogene (formarea amestecului se inițiază în colectorul sau în poarta supapei de admisie) și injecție directă pentru amestecuri stratificate (formarea amestecului începe și are loc în cilindrii motorului asemănător injecției directe la MAC).

2.1.1.1 Injecția indirectă de benzină

Dacă injecția de benzină a fost utilizată în industria aeronautică la începutul secolului XX, în industria constructoare de autovehicule aceasta s-a generalizat la finalul aceluiași secol, deși a fost aplicată pentru prima dată în 1954 la un motor de turism sport, Mercedes-Benz 300SL, sistemul fiind unul de injecție directă, asemănător cu cel al motorului Diesel.

În anul 1957 se realizează primul sistem mecanic de injecție indirectă și continuă în poarta supapei de admisie, însă costul ridicat și dificultățile de întreținere au stopat răspândirea soluției într-o primă etapă.

Ulterior după anul 1970, o dată cu evoluția electronicii, injecția electronică revine în actualitate ca o soluție avantajoasă, aceasta asigurând performanțe superioare în ceea ce privește economicitatea, ecologicitatea și ameliorarea agrementului conducerii, apariția primelor norme europene conducând la abandonarea definitivă a carburatorului.

Amplasarea injectorului sau a injectoarelor poate clasifica injecția indirectă în injecție monopunct, unde injecția este comună pentru toți cilindrii, soluție similară carburatorului din punct de vedere al amplasării injectorului și injecție multipunct, caz în care injecția are loc individual pentru fiecare cilindru.

2.1.1.2 Injecția directă de benzină (GDI)

Eliminarea principalelor dezavantaje pentru motoarele cu aprindere prin scânteie datorită procedeele de formare a amestecului necesită o nouă concepție care să permită în special creșterea raportului de comprimare limitat de apariția detonației, în vederea valorificării la maxim a potențialului termodinamic și reducerea transferului de căldură, relativ mare, pentru funcționarea cu amestecuri stoichiometrice [4], realizarea amestecurilor sărace cu ajutorul injecției directe de benzină putând elimina aceste neajunsuri. Datorită efectului de răcire al aerului ca urmare a vaporizării prin injectarea combustibilului direct în cilindru, cum este cazul injecției directe, raportul de comprimare poate fi ușor crescut, $\varepsilon = 11...12$, spre deosebire de un MAS cu injecție indirectă unde $\varepsilon = 9...10$ ca urmare a apariției detonației, având o consecință directă și importantă asupra randamentului termic al motorului.

Pe lângă avantajele deja enumerate ale sistemului de injecție directă, comparativ cu injecția indirectă de benzină, primul sistem mai prezintă și următoarele aspecte pozitive [6]: eliminarea depunerii de benzină de pe pereții galeriei de evacuare și de pe supape, îmbunătățirea controlului amestecului aer-combustibil, reducerea pierderilor prin pompaj (aspirația aerului fără clapetă obturator) în modul de funcționare cu amestec stratificat, scăderea emisiilor de CO₂ și a consumului de combustibil datorită posibilității funcționării cu amestecuri sărace, încălzirea mai rapidă a catalizatorului, prin divizarea și întârzierea injecției de combustibil în faza de evacuare, pornire mai bună la rece datorită pulverizării mai bune a combustibilului, un agrement al conducerii mai bun ca urmare al unui răspuns mai bun la accelerații.

2.1.1.3 Catalizatorul cu trei căi (TWC)

Catalizatoarele sau convertoarele catalitice, au fost adoptate de industria automobilelor, pentru prima dată în America la mijlocul anilor 1970. Pentru Europa, Saab a fost unul dintre primii constructori auto care a folosit catalizatorul cu trei căi și sondă Lambda în 1976. Tehnologia de fabricație și performanțele catalizatoarelor au evoluat continuu de-a lungul anilor ele devenind indispensabile autovehiculelor moderne mai ales după introducerea normelor Euro 1, la baza funcționării stând fenomenul de cataliză.

Acoperirea monolitului ceramic, străbătut de canale foarte înguste (62-182 de canale/cm²), se face cu un strat din oxid de aluminiu (Al₂O₃) cu suprafața neregulată. Stratul

din oxid de aluminiu are rolul de a mări suprafața de contact cu gazele de evacuare de aproximativ 7000 de ori. Tot acest strat este și cel care conține metalele prețioase, platina, paladiu și rodiu. Platina și paladiul accelerează procesul de oxidare al hidrocarburilor nense și a monoxidului de carbon iar rodiul accelerează procesul de reducere al monoxidului de azot. Într-un catalizator trei căi, masa de metale prețioase se situează în jurul valorii de 1...5 g și variază în funcție de cilindrul motorului și constângerile legislative ce impun normele de emisii poluante care trebuie îndeplinite.

Cataliza este fenomenul de modificare notabilă a vitezei de reacție chimică prin acțiunea unor substanțe numite catalizatori. Acestea participă la reacția chimică și se regăsesc cantitativ la sfârșitul ciclului de reacție. Cataliza poate afecta, de asemenea, selectivitatea unei reacții chimice în cazul reacțiilor concurente în promovarea producției unui produs peste altul. Substanța ce realizează cataliza se găsește de regulă în cantități mult mai mici decât reactanții. În cazul MAS, catalizatorul reprezintă sistemul principal de reducere a emisiilor poluante, acest motor lucrând cu amestecuri stoechiometrice și putând beneficia pe deplin de funcțiile de oxidare pentru HC,CO și reducere pentru NOx. Trebuie menționat faptul că pentru a avea loc eficient aceste reacții, cu o viteză de reacție mare, este necesară atingerea unei energii de activare prin încălzirea monolitului catalizatorului la o temperatură de 250...300°C, motiv pentru care timpul de amorsare al acestuia reprezintă o prioritate pentru inginerii responsabili de punerea la punct a MAI-urilor. Eficiența conversiei este dată de procentul de transformare al emisiilor poluante iar punctul în care eficiența catalizatorului ajunge la 50% se numește „punct de aprindere al catalizatorului”. Temperatura optimă de funcționare a catalizatorului ceramic este în intervalul 400...800°C.

2.1.1.4 Alte sisteme utilizate EGR, GPF

Dacă până la introducerea injecției directe de benzină, catalizatorul cu 3 căi era suficient pentru a post-trata eficient emisiile poluante ale MAS-ului, o dată cu adoptarea acestui sistem de formare al amestecului, sisteme de depoluare care inițial au fost specifice MAC-ului devin indispensabile motoarelor cu aprindere prin scânteie, precum EGR-ul pentru reducerea NOx-ului la sursă și GPF-ul pentru limitarea emisiilor de particule mecanice. Deoarece aceste sisteme sunt specifice MAC-ului, ele vor fi tratate detaliat ulterior, în prezentul capitol, fiind doar amintite și prezentate particularitățile specifice pentru MAS.

✚ a) EGR-ul (recircularea gazelor arse) la MAS

Deși primul sistem EGR controlat a fost folosit pe un MAS în 1973, necesitatea adoptării sistemului de recirculare a gazelor arse la MAS a apărut ca o consecință a introducerii injecției directe de benzină ce funcționează atât cu amestecuri omogene cât și stratificate sărace, fapt ce conduce inevitabil la creșterea concentrațiilor de NOx.

Sistemul EGR este o metodă de depoluare la sursă utilizată pe MAI și permite inhibarea formării oxizilor de azot în timpul arderii prin înlocuirea cantității de aer din cilindrii cu gaze arse ce sunt inerte din punct de vedere chimic, cantitatea de gaze de evacuare introduse în galeria de admisie fiind de 5...20% din întreg amestecul pentru MAS cu MPI. Astfel se reduce atât cantitatea de oxigen ce poate intra în reacția de formare a NOx-ului cât și temperatura de ardere. Pentru o reducere mai mare a temperaturii gazelor recirculate și implicit a temperaturii de ardere, în cazul MAS cu GDI, sistemul poate fi prevazut cu un răcitor EGR.

b) GPF-ul (filtrul de particule la MAS)

Filtrul de particule la MAS este un sistem de post-tratare al gazelor de evacuare, introdus în scopul limitării masei și numărului de particule ca urmare a adoptării injecției directe și reglementărilor europene care, începând cu norma Euro 5, prevăd același prag limită ca pentru MAC, atât la MAS cu GDI cât și pentru MAS MPI, în urma reacției chimice de ardere, rezultând printre alți poluanți, PM și cenușă.

Majoritatea filtrelor de particule la MAS ca și la MAC sunt realizate dintr-un monolit ceramic pe bază de cordierit având unul din două canale obturat la capătul opus, impregnat cu materiale prețioase pentru a asigura și funcția de catalizator, ce lucrează la temperaturi de 650...1000°C în regenerare, reușind să rețină între 60 și 90% din particulele emise de motor. Evident, filtrarea se produce cu o creștere suplimentară a contrapresiunii pe evacuare cuprinsă între 80 și 200 mbar pentru un GPF gol cu un ușor impact negativ asupra consumului de carburant.

Modul de funcționare al unui GPF este similar cu cel al FaP-ului, acesta constând în faza de încărcare (acumulare, stocare) a particulelor și faza de regenerare (ardere) a acestora, diferenț majoră fiind dată de regenerarea termică naturală care este favorizată ca urmare a evacuării gazelor la temperaturi mai ridicate pentru MAS.

Regenerarea GPF-ului la MAS presupune creștere în temperatură a gazelor de evacuare astfel încât să fie posibilă inițierea și întreținerea controlată a arderii particulelor la nivelul filtrului în prezența oxigenului disponibil din gazele arse, aceasta fiind de trei feluri:

- regenerare pasivă;
- regenerare activă;
- regenerare forțată (în service).

Regenerarea pasivă are loc în timpul decelerărilor, nu este controlată, deși se dorește controlarea ei pe cât se poate din reglaj prin tăierea injecției și are loc la temperaturi mai mari de 650°C având o mare viteză de ardere a particulelor 1...5g/min.

2.1.2 Sistemele de depoluare la MAC

Complexitatea motorului cu aprindere prin comprimare și severizarea continuă a normelor de depoluare au făcut astăzi ca motorul Diesel să dispună de un număr impresionant al sistemelor de depoluare:

- injecția comon-rail;
- EGR-ul în cele două versiuni (EGR HP și EGR BP);
- catalizatorul de oxidare pentru HC, CO (două căi);
- filtrul de particule (FaP sau DPF);
- catalizatorul de reducere al oxizilor de azot (NOx-Trap);
- catalizatorul de reducere selectivă al oxizilor de azot (SCR).

La MAC procedeul de formare al amestecului a cunoscut evoluții importante prin abandonarea sistemului de injecție indirectă, în precameră sau cameră separată de vârtej și generalizarea sistemului de injecție directă. Progresul electronicii și posibilitatea controlării diversilor parametri cu ajutorul ei precum și introducerea injecției Common Rail fac din motorul Diesel un concurent serios pentru MAS-ul aspirat natural cu injecție MPI din punct de vedere al prestațiilor client, acesta înregistrând ameliorări notabile prin: reducerea zgomotului de ardere, reducerea emisiilor poluante, reducerea consumului de combustibil și creșterea performanțelor printr-o creștere a cuplului motor, cu reprize mai bune la schimbarea treptelor de viteză.

2.1.2.1 Sistemul de injecție directă Common Rail

Sistemul de injecție directă Common Rail este de tipul cu cameră de ardere în piston și permite ameliorarea randamentului termic al motorului cu aprindere prin comprimare ca urmare a reducerii pierderilor de căldură prin pereții camerei de ardere din chiulasă, în cazul injecției indirecte, datorită eliminării acesteia. Constrângerile determinate de evoluția normelor de poluare precum și exigențele clienților cu privire la performanțele motorului au condus la necesitatea utilizării unor presiuni mari de injecție, 1000...1200 bar, pentru prima generație de Common Rail, astăzi ajungându-se la 2700 bar pentru sistemul Bosch CRS3-27 și 3000 bar pentru sistemul Delphi DFI 21. Creșterea continuă a presiunii de injecție a apărut ca urmare a necesității creșterii puterii litrice a motorului Diesel, sistemele Common Rail, fiind capabile să asigure astăzi debitul necesar pentru motoare cu puteri de până la 100kW/L.

Dat fiind faptul că turația maximă a motorului Diesel este limitată de inerția mare a pieselor în mișcare de translație și timpul scurt de formare al amestecului, creșterea puteri la MAC este posibilă doar prin creșterea momentului motor și în consecință directă prin creșterea presiunii de injecție pentru a realiza pulverizarea cantității de carburant dorită în intervalul scurt de timp avut la dispoziție.

2.1.2.2 EGR-ul (recircularea gazelor arse) la MAC

EGR-ul (Exhaust Gas Recirculation) sau recircularea gazelor de evacuare este un sistem de depoluare la geneză ce permite reducerea emisiilor de NO_x ca urmare a diminuării temperaturii gazului în timpul arderii și scăderea cantității de oxigen ce poate participa la reacția de oxidare a azotului, dar efectul asupra temperaturii este probabil efectul dominant.

După cum s-a precizat anterior, în capitolul 2.1.1.4 a), deși primul sistem EGR a fost folosit la MAS în 1973 pentru reducerea NO_x-ului, controlat în funcție de temperatura lichidului de răcire și depresiunea din galerie, el a găsit o largă raspândire la MAC după anii 1990 ca urmare a faptului că motorul Diesel emite o concentrație mai mare de NO_x datorită funcționării cu amestecuri sărace.

EGR-ul permite scăderea cantității de oxigen ce poate participa la reacția de oxidare a azotului din zona arderii, reducând cantitatea de aer proaspăt ce intră în motor.

Diminuarea temperaturii de ardere se realizează prin absorbția de calorii cu ajutorul gazelor arse, având un conținut relativ ridicat de CO₂ - (12...14%) și H₂O - (11...13%) pentru MAI, ce sunt inerte din punct de vedere chimic și sunt caracterizate de o căldură specifică mai mare decât a aerului, la baza înțelegerii acestui fenomen stând diferite efecte:

- moleculele de combustibil fiind semi-izolate de moleculele inerte ce se găsesc în vecinătatea lor apropiată, au nevoie de mai mult timp pentru a reacționa, diminându-se astfel viteza de ardere și reducându-se temperatura maximă din flacără ca urmare a unei perioade mai mari de timp pentru a elibera aceeași cantitate de energie;
- schimbarea capacității calorice ca urmare introducerii de gaze arse ce au o căldură specifică mai mare decât cea a aerului proaspăt ca urmare a moleculelor de CO₂ ce au un grad mai mare de libertate. În consecință pentru o masă de gaz ce conține EGR la aceeași cantitate de energie de ardere se va obține o temperatură mai mică decât pentru aerul proaspăt;
- folosirea energiei pentru a încălzi o parte mai mare de gaz decât fără EGR, apare ca o consecință a diluării aerului cu gaze de evacuare prin faptul că masa unei părți de gaz ce conține cantitatea necesară de oxigen devine mai mare.

În concluzie, pentru MAC, soluția recirculării gazelor arse cu ajutorul EGR-ului mixt prezintă avantajul unei reduceri eficiente a NO_x-ului la sursă, dezavantajele fiind date de complexitatea mare a sistemului cu un impact major asupra punerii la punct a motorului, costurilor de fabricație și a fiabilității sistemului.

2.1.2.3 Catalizatorul de oxidare la MAC (două căi)

Catalizatorul de oxidare la MAC sau DOC (Diesel Oxidation Catalyst) este un convertor catalitic cu două căi ce realizează oxidarea componentelor chimice din gazele de eșapament respectiv HC și CO cu ajutorul O_2 , care este prezent în cantități mari la evacuarea gazelor arse în cazul motoarelor Diesel.

În prezența temperaturilor înalte de peste $130...150^\circ C$ la trecerea hidrocarburilor nearse și a monoxidului de carbon în fază gazoasă printr-un DOC, acestea pot fi oxidate și convertite în produși inofensivi precum dioxid de carbon și apă. De asemenea pentru motoarele echipate cu FaP o funcție importantă a catalizatorului de oxidare o reprezintă, oxidarea NO-ului în NO_2 , gaz ce susține regenerarea pasivă a filtrului, NO_2 -ul fiind un puternic oxidant pentru PM, în prezența acestuia oxidându-se până la 20% din masa de particule.

Deoarece MAC-ul funcționează cu amestecuri globale sărace, deși în urma procesului de ardere elimină cantități importante de NO_x în comparație cu un MAS, o reducere de NO_x ar fi dorită, însă acest lucru nu este posibil fără a se interveni suplimentar asupra modului de ardere al motorului precum în cazul aplicațiilor prevăzute cu NO_x -Trap, iar din aceste considerente catalizatoarele pentru MAC sunt de tipul catalizatoare 2 căi, asigurând doar reacțiile de oxidare a hidrocarburilor nearse (HC) și monoxidului de carbon (CO).

Convertorul catalitic la MAC are aceleași părți componente precum cel de la MAS, regăsind astfel: monolitul ceramic pe bază de cordierit (sau mai nou monolit metalic) impregnat cu alumină de mare suprafață și metale nobile (Pt, Pd) pentru oxidare, materialul de etanșare și carcasa metalică.

Spre deosebire de cazul catalizatoarelor 3 căi pentru MAS, care implică controlul precis al coeficientului excesului de aer în toate condițiile ciclului de conducere oficializat, în cazul MAC nu există o astfel de constrângere, însă eficiența catalizatoarelor 2 căi depinde de temperatură și de timpul de amorsaj al catalizatorului.

2.1.2.4 Filtrul de particule la MAC (FaP-ul sau DPF-ul)

Filtrul de particule (FaP - Filtre a Particule sau DPF - Diesel Particulate Filter) este un sistem de post-tratare al gazelor evacuate de autovehiculele echipate cu MAC, capabil să rețină particulele mecanice emise de aceste motoare și să se regenereze (să ardă aceste particule) în interiorul lui, atunci când se atinge un anumit prag de încărcare iar condițiile de rulaș permit o regenerare eficientă cu consum mic de carburant și o diluție scăzută a uleiului. Deși primele cercetări în încercarea de a dezvolta un sistem capabil să rețină particulele mecanice la MAC datează de la începutul anilor 1980, el a fost introdus în serie, pentru prima dată, pe Peugeot 607 în luna mai a anului 2000.

În aceste împrejurări experiența dobândită de constructori precum Peugeot - Citroen și rezultatele remarcabile obținute de aceștia cu introducerea FaP-ului în anii 2000, au dus la generalizarea acestei soluții de post-tratare, cercetări importante în acest sens fiind întreprinse de majoritatea constructorilor între anii 2000 - 2010, ele continuând și astăzi pentru a găsi soluții optime în ceea ce privește capacitatea de stocare, filtrare dar și de regenerare a filtrului.

În construcția filtrelor de particule se găsesc aceleași părți componente precum cele întâlnite la catalizatorul de oxidare, monolitul ceramic pe bază de cordierit ($2Mg-Al_2O_3-5SiO_2$), carbură de siliciu (SiC) sau alte materiale, impregnat într-o proporție mai mică cu metale nobile, materialul de etanșare și carcasa metalică, la care se adaugă traductorul de presiune diferențială împreună cu traductorul de temperatură intrare FaP, pentru monitorizarea parametrilor fundamentali (P_{dif} și $T_{intrare}$ FaP) ce asigură buna funcționare a acestuia.

Alte materiale folosite pentru substratul FaP-ului studiate ca posibile soluții dar care nu au o largă răspândire sunt: filtrele pe bază de titan de aluminiu, filtrele din metal aglomerat, filtrele din fibre ceramice, filtrele pe bază de spumă ceramică și filtrele pe bază de mulit.

2.1.2.5 Catalizatoare pentru reducerea NOx-ului la MAC (NOx-Trap-ul și SCR-ul)

Norma Euro 6 la MAC spre deosebire de Euro 5, impune limite mult mai severe pentru NOx. În acest context pe tronsonul de evacuare constructorii au fost nevoiți să adopte încă un element de post-tratare pentru reducerea catalitică a oxizilor de azot de tipul NOx-Trap sau SCR. NOx-Trap-ul este un reactor catalitic cu stocare de NOx, acesta îndeplinind funcțiile unui DOC, asigurând atingerea temperaturii de regenerare, și, în plus, îndeplinește și funcția de reducere a NOx-ului. Construcția lui este similară cu cea a catalizatoarelor clasice, diferența majoră constând în aceea că materialul activ conține, pe lângă metalele nobile utilizate, platină, rodiu și bariu sau zirconiu.

O problemă deosebit de importantă o ridică adsorbția (stocajul) de sulf, provenit din carburant și ulei, pe siturile de bariu ocupând aceleași spații ca siturile de stocaj de NOx diminuând reversibil capacitatea de adsorbție și crescând emisiile la evacuare.

Spre deosebire de stocajul reziduurilor din FAP care nu se pot arde, în cazul adsorbției de SOx, masa de SOx poate fi purtată prin îndeplinirea a 2 condiții importante:

- temperatura în NOx-Trap să fie de $\sim 700^{\circ}\text{C}$;
- motorul să funcționeze cu amestecuri bogate $\lambda < 1$.

În general viteza de încărcare cu SOx este de până la 2g/1000km, purjarea realizându-se atunci când masa de sulf înainte de purjare este de aproximativ 1g, aceasta având o durată de aproximativ 10min cu o frecvență aproximativă a purjeriilor la fiecare 500km.

O altă soluție de post-tratare a oxizilor de azot constă în utilizarea sistemelor SCR (Selective Catalytic Reduction), sistem ce realizează reducerea oxizilor de azot din gazele de evacuare, utilizând o soluție pe bază de uree ($\sim 32,5\%$) și apă denumită comercial AdBlue în Europa, soluție ce este stabilă din punct de vedere chimic cu un punct de îngheț de -11°C .

Ureea cu formula chimică $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, se obține prin combinarea dioxidului de carbon (CO_2) și a amoniacului (NH_3) la temperaturi de 150°C și presiuni înalte de aproximativ 50 de bari, în urma unor procedee chimice industriale, substanța rezultată fiind solidă, sub forma unor cristale incolor, solubile în apă. În stare liberă NH_3 -ul este un gaz toxic, cu miros înțepător mai ușor decât aerul.

Deși catalizatorul SCR are o construcție asemănătoare cu aceea a convertoarelor catalitice clasice, bazată pe un suport mecanic din cordierit și un strat de acoperire ce conține site-uri active cu zeolit, fier și cupru, acesta nu conține metale prețioase de tipul (Pt, Pd, Rh).

Sistemele SCR, prin utilizarea amoniacului (NH_3) ca agent de reducere, diminuează semnificativ oxizii de azot din gazele de evacuare. Pentru a putea atinge limitele impuse respectării emisiilor poluante, arhitectura generală, a unui MAC Euro 6, prevăzut cu SCR, conține următoarele sisteme de post-tratare a gazelor de evacuare:

- catalizator de oxidare (pentru HC, CO, și conversie NO în NO_2);
- catalizator SCR (reducere NO, NO_2);
- catalizator de oxidare amoniac (reducere scăpări de NH_3);
- filtru de particule (oxidare PM).

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Grunwald, B.*, Teoria, calculul și construcția motoarelor pentru autovehicule rutiere, Ed. Didactică și Pedagogică din București, 1980.
- [2] ***Mono Motronic, accesat la data de 03.08.2019. Disponibil la: http://br.bosch-automotive.com/en/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/mono_motronic_1/mono_motronic.html.
- [3] ***Motronic ME7, accesat la data de 04.08.2019. Disponibil la: http://br.bosch-automotive.com/en/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/motronic_me_7/motronic_me_1.html.
- [4] *Ioan Mircea Oprean.*, Automobilul Modern, Editura Academiei Romane, Bucuresti 2003.
- [5] *** Motronic MED, accesat la data de 04.08.2019. Disponibil la: http://br.bosch-automotive.com/en/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/motronic_med_1/motronic_med.html.
- [6] *** Motoare pe benzină cu injecție directă, accesat la data de 04.08.2019. Disponibil la: <http://www.e-automobile.ro/categorie-motor/18-benzina/14-motoare-benzina-injectie-directa.html>.
- [7] *** Hyundai's New Theta Engine with GDI (Gasoline Direct Injection) Technology, accesat la data de 04.08.2019. Disponibil la: <https://www.youtube.com/watch?v=Pxvp9F-PS34>.
- [8] *** SSP 332 VW. Disponibil la: http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_322.pdf, accesat la data de 05.08.2019.
- [9] *** Modul de funcționare al catalizatorului pe trei căi (TWC). Disponibil la: <http://www.e-automobile.ro/categorie-motor/18-benzina/64-catalizator-benzina.html>, accesat la data de 05.08.2019
- [10] *** Importance Of The Catalytic Converter. Disponibil la: <https://speedfinal.com/how-to-change-a-catalytic-converter-yourself/>, accesat la data de 05.08.2019.
- [11] *** GDI EGR Module. Disponibil la: <https://www.youtube.com/watch?v=Bv2b1daXSCc>, accesat la data de 05.08.2019.
- [12] *** Modul de funcționare al sistemului de recirculare a gazelor de evacuare (EGR). Disponibil la: <http://www.e-automobile.ro/categorie-motor/20-general/42-egr-motor.html>, accesat la data de 05.08.2019.
- [13] *** Formare GPF world, Renault Technologie Roumanie 23.11.2018.
- [14] *** Modul de funcționare al motorului diesel cu injecție directă. Disponibil la: <http://www.e-automobile.ro/categorie-motor/19-diesel/25-motor-diesel-injectie-directa.html>, accesat la data de 06.08.2019.
- [15] Francesco C. Pesce, Alberto Vassallo, Carlo Beatrice, Gabriele Di Blasio, Giacomo Belgiorno, Giovanni Avolio, Oliver Kastner, Uwe Leuteritz, "Exceeding 100 kW/l Milestone: The Next Step towards Defining High Performance Diesel Engines", Conference: 25th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2016, October 2016, Aachen, Germany.
- [16] *** Common rail and injector innovations boost flexibility, while cutting costs and complexity. Disponibil la: <https://www.delphi.com/innovations/f3-common-rail-and-dfi21-injectors#>, accesat la data de 06.08.2019.
- [17] SIMON REIFARTH, " EGR-Systems for Diesel Engines", Lucrare de licență, March 2010.
- [18] ***RECYCLAGE DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT, accesat la data de 10.08.2019. Disponibil la: <https://www.hella.com/techworld/fr/Technique/Electricite/Electronique/Recyclage-des-gaz-d-echappement-3491/>.
- [19] Edwin Jose, Muhammed Muhais A, V. Ravikumar, "Exhaust Gas Recirculation in CI Engines", International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) 2015, March 2015.
- [20] Dominic Parsons, Sam Akehurst and Chris Brace, "The potential of catalysed exhaust gas recirculation to improve high-load operation in spark ignition engines", International J of Engine Research 2014, September 2014.
- [21] VW, Program de studiu individual 514, "Noua gama de motoare Diesel EA288", Constructia si functionarea, Mai 2013.
- [22] ***Au coeur du nouveau 1.6 dCi Renault, accesat la data de 11.08.2019. Disponibil la: <https://www.largus.fr/actualite-automobile/au-coeur-du-nouveau-1-6-dci-renault-188713.html>.

- [23] *** Recirculation des gaz d'échappement (EGR), accesat la data de 11.08.2019. Disponibil la: <https://www.forumbmw.net/topic-365-technologie-diesel-recirculation-des-gaz-d-echappement-egr.html>.
- [24] *** Diesel particulate filter : PSA Peugeot Citroën Blue HDi new exhaust line, accesat la data de 11.08.2019. Disponibil la: <https://www.youtube.com/watch?v=jkpzSdSvQcQ>.
- [25] *** BLUEHDI ENGINE: EXHAUST GASES TREATMENT, accesat la data de 12.08.2019. Disponibil la: <https://www.peugeotnigeria.com/brand-and-technology/innovations-technologies/efficiency/bluehdi-engines/>.
- [26] *** AdBlue - Sistemul de tratare a emisiilor de NOx (SCR), accesat la data de 12.08.2019. Disponibil la: <http://www.e-automobile.ro/categorie-motor/19-diesel/140-adblue-motor-diesel-uree-scr.html>.

3 STUDIUL PARTICULARITĂȚILOR CONSTRUCTIV – FUNCȚIONALE ALE AUTOVEHICULELOR ECHIPATE CU GMP HYBRID

3.1 Scurt istoric al autovehiculului hibrid (electric)

Termenul de automobil hibrid caracterizează un autovehicul ce utilizează două sau mai multe surse de energie diferite, pentru a se autopropulsa. Adesea se utilizează energia chimică a combustibilului din rezervor ce se transformă în energie mecanică cu ajutorul unui MAI și energia electrică, stocată la nivelul celulelor bateriei de acumulatori asistată uneori de supercondensatori, ce este convertită în energie mecanică cu ajutorul a cel puțin un motor electric, însă pot exista și aplicații ce utilizează alte tipuri de energie, precum cea hidraulică, pneumatică etc.

Deși în ultimul secol supremația sistemelor de propulsie pentru autovehicule a aparținut MAI, istoria autovehiculului electric este cel puțin la fel de veche ca și utilizarea MAS-ului, primul automobil electric datând din 1839, când Robert Anderson realizează un vehicul electric acționat de baterii nereîncărcabile. Automobilul nu a fost încununat de succes, din cauza problemelor bateriilor de acumulatori. În 1897 o companie de taxi din Londra producea vehicule cu motoare electrice de 3 CP și 40 baterii ce ajungeau la o autonomie de aproximativ 80 km, iar în 1899 belgianul Camille Jenatzy depășește 100 km/h [1], cu un vehicul electric, a cărui formă aerodinamică era asemănătoare unui obuz, denumit „Jamais Contente”.

O parte din producătorii de vehicule electrice de la aceea vreme încep să includă motoare cu aprindere prin scânteie de mică cilindree, pentru a crește autonomia propriilor vehicule, peste concurența venită din partea autovehiculelor dotate cu motore termice.

Astfel în 1898 Lohner-Porsche a dezvoltat primul său automobil hibrid, având un motor cu ardere internă și unul electric a cărui autonomie maximă în mod electric era de 40 mile (65 de kilometri). Un autovehicul hibrid cu gaz și motor electric de 3,5 CP se construiește în Belgia anulului 1900. Deși au existat și alte tentative, primul motopropulsor hibrid cu un mod de funcționare asemănător celui de astăzi a fost dezvoltat și prezentat de General Motors (GM 512) în 1969. După prima criză a petrolului din 1973, interesul pentru autovehiculele hibride au început să crească. Producția de serie a unui autovehicul hibrid cu impact la scară mondială începe la finalul anilor '90 atunci când Toyota lansează conceptul Prius în 1997 [2] urmând ca producția lui să înceapă în anul 1999.

3.2 Necesitatea hibridizării

Probleme precum încălzirea globală (datorată în special creșterii emisiilor de CO₂, epuizarea resurselor naturale și poluarea din mediile urbane constituie amenințări la adresa dezvoltării durabile a economiei mondiale impunându-se noi standarde pentru sistemele de propulsie ale automobilelor. Reducerea consumului de combustibil are ca și consecință directă, reducerea emisiilor de CO₂, emisii ce au un impact puternic asupra efectu-lui de seră (emisiile de CO₂ fiind imaginea directă a consumului de carburant).

În Europa, constructorii de automobile grupați în ACEA (Asociația Constructorilor Europeni de Automobile) s-au angajat la o reducere a consumului de carburant pentru anul 2020 față de anul 2000, cu până la 45% atingând-se o medie de 95g CO₂ pe constructor, apreciindu-se că acest obiectiv este imposibil de atins în lipsa unor tehnologii inovative a sistemelor de propulsie, precum hibridizarea sau electrificarea GMP-urilor. Pentru a rămâne competitivi pe piață, de menționat este faptul, că aceste restricții trebuie să fie respectate, în contextul asigurării normelor de securitate activă, pasivă și a unor performanțe dinamice identice sau superioare ale autovehiculelor din momentul actual fără creșteri excesive ale prețului acestora.

Autovehiculele electrice ar putea reprezenta o soluție pentru eliminarea acestor pierderi și utilizarea justă a energiei, însă neajunsurile acestora legate de problemele autonomiei

reduse, la aproximativ 300km, durata de viață limitată a bateriilor precum și prețul lor, fac ca acestea să nu fie o soluție viabilă la momentul actual, vehiculele electrice hibride fiind considerate ca soluția cea mai potrivită pentru reducerea emisiilor poluante și a consumului de combustibil, în comparație cu vehiculele echipate cu MAI, acestea reușind ca prin combinarea celor două surse de energie să obțină o ameliorare a randamentului.

3.3 Stocarea energiei, tipuri de arhitecturi și principii de funcționare

O constrângere a organizării arhitecturii autovehiculului echipat cu un GMP hibrid spre deosebire de cele echipate cu un GMP electric rezultă din caracteristica sistemelor hibride și anume aceea de a necesita cel puțin două sisteme de stocare a energiei (rezervorul de combustibil în care energia chimică a carburantului este stocată într-o formă concentrată [10] și bateria electrică, unde energia electrică poate fi stocată și utilizată în funcție de necesarul autovehiculului), cele mai adecvate fiind bateriile electrice, supercondensatorii, acumulatorii cinetici sau cei hidraulici și pneumatici.

Din categoria bateriilor convenționale fac parte următoarele categorii de acumulatori, ce au o densitate mare de energie, precum Pb-acid (30...40 Wh/kg), NiMH (60...100 Wh/kg) și Litiu-Ion (120...200Wh/kg). Așadar pentru a răspunde cerințelor utilizării autovehiculului s-au făcut remarcate bateriile de mare putere pe bază de Litiu care au o capacitate moderată de stocare și o durată de viață de peste 240.000km, [13].

Supercondensatorul sau bateria viitorului așa cum este văzută de anumiți cercetători, este un concept, condensatorul fiind în principiu cel mai bun concept pentru a înlocui motoarele convenționale cu aprindere prin scânteie, mult mai bun decât acumulatorul "classic", bazat pe litiu-ion, deoarece nu există reacții chimice, timpul de reîncărcare este foarte scurt iar randamentul este de 100%, însă până în 2008 nu au existat produse satisfăcătoare pe piață.

Avantajele principale ale sistemelor hibride sunt:

- emisii poluante scăzute (emisii locale zero în mod electric, AER - all electric range);
- consum scăzut de combustibil (emisii reduse de CO₂), datorită:
 - frânării cu recuperare de energie;
 - funcționare de tipul oprire/ pornire GMP (Stop & Start);
 - posibilitatea utilizării motorului termic în zona de randament maxim, a polului economic sau apopiată acesteia;
 - posibilitatea reducerii cilindreei motorului păstrând aceleași performanțe prin asistarea electrică.

Avantajul stocării energiei în baterie, împreună cu posibilitatea trecerii motorului electric în regim de generator electric, conduce la trei moduri de utilizarea a acesteia pe autovehicul:

- funcționarea MAI doar în regimuri economice;
- oprirea funcționării MAI atunci când nu există o cerere de energie pentru acesta (utilizarea la sarcini mici în oraș, coborarea unor pante sau oprirea la semafor);
- stocarea energiei recuperată la frânare în baterie și utilizarea acesteia prin folosirea unei mașini electrice reversibile (motor/generator).

3.4 Gestionarea optimă a energiei

În faza de proiectare a unui autovehicul hibrid, datorită introducerii sistemului de propulsie electric ce ocupă un spațiu important și crește semnificativ masa totală a automobilului, vor fi luate în calcul mai multe constrângeri ce nu trebuie considerate neglijabile. La

dimensionarea sau alegerea bateriei se va urmări asigurarea unui compromis astfel încât capacitatea de stocare să fie satisfăcătoare păstrând în același timp și accelerații bune ale autovehiculului. În acest sens spre deosebire de un autovehicul total electric care necesită o mare capacitate de stocare, bateriile unui autovehicul hibrid și tehnologiile lor de fabricare vor fi diferite în scopul de a permite o alimentare a motorului electric cât și o reîncărcare rapidă.

Mai mult, este necesară alegerea unei baterii care se adaptează cel mai bine la autovehiculul proiectat, mai ales pentru a răspunde constrângerilor de greutate, ținând cont de faptul că o creștere a greutății autovehiculului conduce pe lângă diminuarea performanțelor dinamice la accelerare - decelerare și la o creștere a consumului de carburant, anulând astfel câștigul cel poate aduce propulsia electrică în scopul diminuării consumului. Astfel este necesară alegerea unei soluții optime ce permite asigurarea unor performanțe acceptabile păstrând totodată o masă satisfăcătoare.

Un alt aspect ce trebuie luat în calcul este răcirea autovehiculului. În cazul unui autovehicul hibrid, pe lângă răcirea motorului termic clasic, trebuie adăugat și un sistem de răcire pentru baterii și motorul electric, sistem care pe lângă faptul că va crește masa autovehiculului, va necesita și un consum de energie pentru a funcționa, mărin­d astfel consumul de combustibil.

Problema principală la care constructorii de automobile trebuie să găsească soluții pentru autovehiculele de tip hibrid este utilizarea cât mai eficient posibil a energiei motorului cu ardere internă cu ajutorul sistemului electric. Contrar, producătorii de automobile ce acordă o atenție sporită propulsiei electrice prin utilizarea unui motor termic pentru a încărca bateriile răspund unor probleme pentru creșterea autonomiei autovehiculelor în mod 100% electric.

Având în vedere că sistemele de propulsie hibride lucrează cu două sisteme de propulsie (mecanic și electric) repartitia energiei între acestea nu este o alegere evidentă pentru a satisface cererea de putere a conducătorului auto și trebuie ținut cont de evoluția randamentului fiecărui element în funcție de utilizarea lor. Mai mult constrângerile evoluțiilor normelor de depoluare ale MAI, constrângerile de ordin tehnic (starea sistemului, comandă), agrementul conducerii (dinamica longitudinală a autovehiculului, zgomot) sau de natură economică pot ridica probleme serioase la care optimizarea gestionării energiei trebuie să răspundă.

Aplicarea metodelor pentru optimizarea gestionării energiei și proiectarea autovehiculelor hibride a făcut obiectul multor cercetări după lansarea în serie a autoturismului Toyota Prius la începutul anilor 2000, strategiile sistemului de control putând fi bazate pe reguli empirice cu ajutorul ecuațiilor logice sau fuzzy sau pe optimizare dinamică.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *** La Jamais contente, accesat la data de 28.10.2015. Disponibil la https://fr.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_contente.
- [2] *** Hybrid electric vehicle, accesat la data de 28.10.2015. Disponibil la https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicle.
- [3] *** Automobile, CO₂, effet de serre et réchauffement climatique, accesat la data de 28.10.2015. Disponibil la <http://carfree.fr/index.php/2008/05/31/automobile-co2-effet-de-serre-et-rechauffement-climatique/>.
- [4] *** Automobile, CO₂, effet de serre et réchauffement climatique, accesat la data de 16.08.2019. Disponibil la <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>.
- [5] *** CO₂ from Cars and Vans, accesat la data de 16.08.2019. Disponibil la <https://www.acea.be/industry-topics/tag/category/co2-from-cars-and-vans>.
- [6] *Maciac, A.N.*, Introducere în sisteme de propulsie hibride pentru automobile, prezentare susținută în cadrul Universității Politehnice București, București 2015.
- [7] *Nicolas Marc*, Méthodologie de dimensionnement d'un véhicule hybride électrique sous contrainte de minimisation des émissions de CO₂, Teză susținută în cadrul Université d'Orléans, novembre 2013.
- [8] *Mitch Olszewski, T. A. Burrell, S. L. Campbell, C. L. Coomer, C. W. Ayers, A. A. Wereszczak, J. P. Cunningham, L. D. Marlino, L. E. Seiber, and H. T. Lin*, Evaluation of the 2010 Toyota Prius Hybrid Synergy Drive System. Technical report, Oak Ridge National Laboratory, 2011.
- [9] *** Cutia de viteze manuală - mod de funcționare și componente, accesat la data de 16.08.2019. Disponibil la <http://www.e-automobile.ro/categorie-transmisii/16-cutie-viteze-manuala-automobile.html>.
- [10] *Oprean, I.M.* Automobilul Modern. Cerințe, restricții, soluții, Editura Academiei Romane, București 2003.
- [11] *Gutaf Lagunoff*, Automotive Hybrid Technology. Satus, Function and Development Tools. Master's Thesis, Luleå University of Technology of Sweden, 2008.
- [12] *** Puterea tăcută a super-condensatoarelor, accesat la data de 17.08.2019. Disponibil la <https://www.electronica-azi.ro/2018/10/01/puterea-tacuta-a-super-condensatoarelor/>.
- [13] *** SISTEM DE PROPULSIE HIBRID (TERMIC - ELECTRIC) INOVATOR PENTRU AUTOMOBILE, accesat la data de 17.08.2019. Disponibil la <http://automobile-hibride.ro>.
- [14] *** Hybrid Electrical Vehicles, accesat la data de 17.08.2019. Disponibil la http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092353_HEV.pdf.
- [15] *S. Delprat*, "Evaluation de stratégies de commande pour véhicules hybride parallèles", Ph.D. dissertation, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2002. [Online]. Available : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00007966/>.
- [16] *C. Musardo, G. Rizzoni, and B. Staccia*, "A-ECMS : An adaptive algorithm for Hybrid Electric Vehicle energy management", Seville, Spain, Dec. 2005.
- [17] *E. Vinot, R. Trigui, B. Jeanneret, J. Scordia, and F. Badin*, "HEVs comparison and components sizing using dynamic programming", Arlington, 2007, pp. 314 - 321.
- [18] *G. Rousseau*, "Véhicule hybride et commande optimale", Ph.D. dissertation, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008. [Online]. Disponibil la: <http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00005237/>, accesat la data de 17.08.2019.
- [19] *O. Sundström, L. Guzzella, and P. Soltic*, "Optimal hybridization in two parallel hybrid electric vehicles using dynamic programming", in Proceedings of the 17th IFAC world congress, 2008, pp. 4642–4647. [Online], accesat la data de 17.08.2019. Disponibil la: <https://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/ifac2008/data/papers/2452.pdf>.
- [20] *Jinming Liu and Huei Peng*, "Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle", in IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 16, NOVEMBER 2008.
- [21] *O. Sundström, D. Ambühl, and L. Guzzella*, "On Implementation of Dynamic Programming for Optimal Control Problems with Final State Constraints," Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'Institut Français du Pétrole, vol. 65, no. 1, pp. 91–102, Jan. 2010. [Online], accesat la data de 17.08.2019. Disponibil la: <http://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/10.2516/ogst/2009020>.
- [22] *O. Sundstrom and L. Guzzella*, "A generic dynamic programming Matlab function", in Control Applications,(CCA) & Intelligent Control,(ISIC), 2009 IEEE. IEEE, 2009, pp. 1625–1630. [Online].

Disponibil la: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5281131, accesat la data de 17.08.2019.

[23] *N. Kim, S. Cha, and H. Peng*, “Optimal Control of Hybrid Electric Vehicle Based on Pontryagin Minimum Principle”, IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 19, no. 5, pp. 1279–1287, Sep. 2011.

[24] *Pierre Michel and all*, “Energy management of HEV to optimize fuel consumption and pollutant emissions”, 11th International Symposium on Advanced Vehicle Control, AVEC'12, Sep 2012, Seoul, South Korea. pp.CDROM, 2012.

[25] *S. Ebbesen, P. Elbert, and L. Guzzella*, “Engine Downsizing and Electric Hybridization Under Consideration of Cost and Drivability”, Oil & Gas Science and Technology – Revue d’IFP Energies nouvelles, vol. 68, no. 1, pp. 109–116, Jan. 2013.

[26] *M. Pourabdollah, N. Murgovski, A. Grauers, and B. Egardt*, “Optimal Sizing of a Parallel PHEV Powertrain”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 62, no. 6, pp. 2469–2480, Jul. 2013. Disponibil la: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6423969>, accesat la data de 17.08.2019.

[27] *V. Reinbold, E. Vinot, L. Garbuio, and L. Gerbaud*, “Magnetic circuit model a quick and accurate sizing”. Coimbra (Portugal) : IEEE, Oct. 2014.

[28] *Francis Roy and all*, “Gestion énergétique optimale au service de la conception de chaînes de traction hybrides”, SYMPOSIUM DE GENIE ELECTRIQUE (SGE'14): EF-EPF-MGE 2014, 8-10 JUILLET 2014, CACHAN, FRANCE.

[29] *Francis Roy*, “Optimisation énergétique de chaînes de traction électrifiées”, These de doctorat, Ecole doctorale ED391, Sciences mécaniques, acoustique, électronique & robotique de Paris CACHAN, FRANCE, Juin 2015.

4 METODE ȘI MIJLOACE DE CERCETARE EXPERIMENTALĂ

4.1 Prestațiile implicate în punerea la punct a unui autovehicul hibrid

Evoluția tehnologică și dezvoltarea industriei constructoare de autoturisme, a condus la o creștere a exigențelor clienților, pe mai multe axe de cercetare, denumite în continuare prestații pe care autovehiculele hibride trebuie să le asigure pentru a rămâne competitive pe piață, în comparație cu autovehiculele echipate cu motoare termice convenționale. Așadar, pe lângă prețul de vânzare și desingn-ul autovehiculului, asigurarea unor performanțe similare sau superioare din punct de vedere dinamic, economic și ecologic poate avea consecințe decisive asupra deciziei clientului la achiziționarea autovehiculului.

Prin urmare, în funcție de tehnologia sistemelor de propulsie a autoturismului dezvoltat, constructorii de autovehicule definesc caiete de sarcini cu performanțele dinamice, economice și ecologice. Asigurarea îndeplinirii acestor performanțe trece în responsabilitatea anumitor departamente de cercetare experimentală (testare). Inginerii din departamentele ce realizează cercetările experimentale sunt gupați pe diverse tipuri de prestații, asigurând astfel punerea la punct a sistemelor implicate în atingerea performanțelor definite în caietele de sarcini.

Astfel, pentru asigurarea performanțelor dinamice pe lângă cei care se ocupă de proiectarea autovehiculului pot fi implicate prestații de punere la punct GMP (grup moto-propulsor), precum prestațiile reglaj de bază și agrement, iar pentru asigurarea performanțelor economice și ecologice pot fi responsabile prestațiile reglaj de bază și depoluare.

4.2 Tipuri de încercări pentru cercetarea experimentală a autovehiculelor hibride

În cadrul unui proiect de dezvoltare, pentru cercetarea experimentală, inginerii responsabili de prestațiile implicate sunt cei care stabilesc tipul, metodele și mijloacele de încercare în funcție de obiectivele urmărite, ca de exemplu:

- prestația reglaj de bază este responsabilă de definirea metodelor și a mijloacelor de încercare pentru punerea la punct a GMP-ului și respectarea caietului de sarcini din punct de vedere al performanțelor motorului (putere, cuplu), a limitelor termodinamice ale acestuia și nivel de zgomot GMP. Aceste încercări presupun realizarea reglajelor pe puncte statice de funcționare, baleiaje de parametri pe punctele de funcționare pentru a găsi reglajul optim, ISO-regimuri precum și alte teste specifice realizate în cea mai mare parte pe BMS (Bancul Motor Staționar) și într-o proporție foarte mică pe BaR (Bancul cu Role) sau pista de încercare;
- prestația agrement are ca responsabilitate definirea metodelor și a mijloacelor de încercare pentru punerea la punct a motorului și respectarea caietului de sarcini, din punct de vedere al performanțelor acustice, dinamice și de confort al GMP-ului integrat pe autovehicul. În acest sens pentru prestația agrement sunt sugestive testele de: calitate pentru schimbarea treptelor de viteză, acustică GMP, pornirea la rece, regulator ralanti, revenire ralanti, reprizele sau dinamica autovehiculului la demarajul pentru plecarea de pe loc. Pentru această prestație testele se realizează în cea mai mare parte pe pista de încercare, camere de aclimatizare, misiuni în diferite regiuni, acolo unde sunt întâlnite condițiile atmosferice, meteorologice și într-un număr restrâns pe bancul cu role și bancul climatic sau altimetric;
- prestația depoluare asigură definirea metodelor și a mijloacelor de încercare pentru punerea la punct motor și respectarea caietului de sarcini, din punct de vedere al încadrării autovehiculului proiectat în normele de depoluare. Printre testele realizate de această prestație pot fi enumerate baleiajele la bancul motor pentru optimizarea poluanților, teste de identificare și optimizare a emisiilor poluante la bancul cu role, teste de dispersii componente motor cu impact asupra depoluării, teste de determinare ai facto-

rilor de degradare pentru elemente de post-tratare și determinarea consumului de carburant al autovehiculului. Această prestație folosește ca mijloc principal de încercare bancul cu role, bancul climatic pentru temperaturi extreme de $-40...50^{\circ}\text{C}$ sau altimetric pentru altitudini de până la 2500m, precum și BMS-ul sau bancurile dinamice evolutive de tipul BFD (Banc Faible Dynamique sau BHD (Banc Haute Dynamique) cu analiză de gaze.

Alte subprestații ce pot fi implicate în punerea la punct a GMP-ului dar care nu fac obiectul studiului nostru sunt: subprestația climatic, subprestația filtru de particule, subprestația OBD (On Board Diagnostic) și subprestația transmisii automate.

4.3 Mijloacele de încercare

Bancurile sau standurile de încercare sunt acele mijloace de testare ce permit testări, cercetări sau caracterizări experimentale furnizând datele de intrare pentru analiza performanțelor și modelizarea numerică a sistemelor energetice complexe. Aceste cercetări sunt însoțite de un câștig al societății noastre civile contribuind la reducerea consumului de combustibili fosili și a emisiilor poluante, prin punerea în aplicare a unor metode și instrumente de lucru care să răspundă standardelor europene ce au drept scop scăderea emisiilor poluante și a consumului de carburant [1].

4.3.1 Bancul motor staționar (BMS)

Bancul sau standul motor staționar sau BMS-ul, este un sistem proiectat pentru a realiza încercări pe grupurile motopropulsoare staționare în regimuri constante de turație și cuplu, acesta funcționând pe baza unei frâne hidraulice, de curenți Foucault. Pe această categorie de bancuri sunt studiate motoare atât cele din categoria autovehiculelor ușoare cât și cele din categoria autovehiculelor grele (camioane) și dispun de instrumente specifice de măsură precum: turația și cuplul motorului, presiuni și temperaturi, presiunea din cilindri, balanță de combustibil, baie de analiză gaze pentru măsurarea și cuantificarea emisiilor poluante, stabilitatea și calitatea arderii [1].

Pentru buna funcționare, bancul motor sau sistemul de încărcare necesită atât alimentarea cu energie electrică cât și controlul cu precizie al cuplului motor impus prin potențiometrul pedalei de accelerație. Acest lucru se realizează prin intermediul unui dispozitiv de comandă care înglobează un sistem automat de control (pilotajul bancului) ce respectă consemne, măsurări, comenzi și stări implicite. În consecință dispozitivul de comandă este responsabil de funcționarea globală a celei de încercare incluzând elemente ce țin de securitatea MAI, a frânei, precum și a parametrilor motorului ca temperatura uleiului, a apei de răcire atât pentru motor cât și pentru sistemul de încărcare.

4.3.2 Bancul motor dinamic (BFD sau BHD)

Necesitatea realizării de încercări pe regimuri dinamice (tranzitorii) în vederea determinării emisiilor poluante și a consumului de carburant, atât pentru motoarele termice convenționale cât și pentru cele hibride, la costuri mai mici decât testele realizate pe bancul cu role a condus la conceperea bancului motor dinamic.

Un banc motor dinamic este un echipament de testare compus dintr-o mașină electrică asincronă și un convertizor ce permite pilotarea mașinii electrice în funcție de momentul motor și viteza unghiulară.

Bancul este cuplat cu un sistem de măsură al poluanților, putându-se astfel realiza simulări de cicluri normalizate (NEDC, WLTC, FTP75, JC08, etc.) pentru punerea la punct a MAI din punct de vedere depoluare, optimizarea strategiilor în taiere de injecție (recalaj injectoare, menținere regim turbocompresor) și simulări de componente periferice ale

motorului (cutie de viteze) sau funcționare în mod hibrid a autovehiculului (cu integrarea de modele Simulink). Tot în vederea depoluării pe bancurile dinamice se pot realiza încercări de componente sensibile în regimurile tranzitorii precum încercările de viteză de încărcare (cazul filtrului de particule).

4.3.3 Bancul cu rulouri (BaR) pentru testarea emisiilor poluante

Bancul cu rulouri, este un dispozitiv de testare, încercare sau cercetare destinat analizării, măsurării, emisiilor poluante și a consumului de carburant concomitent cu reproducerea rezistențelor la înaintare ale autovehiculului. Încercarea se realizează prin plasarea roților motrice ale automobilului și centrarea lui pe rulourile bancului, acesta fiind prevăzut cu un dispozitiv ce aliniază autovehiculul, celelalte roți fiind blocate pentru a obține imobilizarea vehiculului pe stand. Scopul principal este acela de a reproduce un profil de viteză în funcție de timp, profilul reprezentând ciclul de încercare dorit. Bancul cu rulouri se compune din:

- rulouri îngropate, cu o inerție mare;
- o mașină electrică de încărcare cuplată la rulo și comanda sa;
- un sistem de prelevare al gazelor de evacuare de tipul CVS (Constant Volume Sampling) conform legislației în vigoare;
- o baie de analiză sau baterie de analizoare pentru măsurarea maselor de emisii poluante reglemantate (HC, CO, NO_x) în timpul încercării;
- un dispozitiv automat de comandă ce permite comanda bancului și urmărirea profilului de rulaj (sau a ciclului de rulaj).

Pentru realizarea ciclului, un operator (tehnician) conduce autovehiculul urmărind profilul de rulaj instantaneu cu o toleranță de ± 2 km/h față de viteza teoretică afișată pe monitor.

Necesitatea folosirii unui banc de încercare pentru analiza, respectiv măsurarea emisiilor poluante a apărut ca urmare a evoluțiilor tehnice, a introducerii normelor antipoluare ce necesită mijloace de încercare adecvate pentru a avea o bună precizie și repetabilitate a rezultatelor. Determinarea emisiilor poluante și a consumului de combustibil este posibilă cu ajutorul unui echipament de măsură ce are la bază procedeul CVS (Constant Volume Sampling), similar cu cel întâlnit la bancul motor.

4.4 Analizoare utilizate pentru măsurarea emisiilor poluante

Analizoarele folosite la determinarea concentrațiilor emisiilor poluante atât pentru testele realizate la BaR cât și pentru cele realizate la bancul motor sunt: analizorul cu absorbție non-dispersivă în infraroșu, analizorul cu chemiluminiscență, analizorul cu detector de ionizare a flăcării și analizorul cu detector paramagnetic PMD.

4.4.1 Analizorul de CO și CO₂ (NDIR)

Utilizarea analizorului cu absorbție non-dispersivă în infraroșu sau NDIR (Non-dispersive Infrared Detector), pentru detecția și analiza emisiilor de CO, respectiv CO₂ este posibilă ca urmare a folosirii modulării razelor infraroșii pentru a furniza un semnal electric ce determină cantitatea acestor emisii, denumirea de „non-dispersiv” fiindu-i atribuită, prin prisma faptului că toată lumina policromatică emisă de sursă trece prin proba de gaz înainte de intrarea în filtru [12, 13].

Modul de funcționare al analizorului presupune ca o sursă radiantă, ridicată la circa 700°C, să emită radiații ce sunt apoi împărțite în două fascicule identice, un filtru de IR (infraroșu) fiind utilizat pentru a selecta lungimea de undă dorită. Unul dintre aceste fascicule este trecut printr-o celulă de referință care este umplută cu N₂ (gaz inactiv la IR), intensitatea sa

nefiindu-i modificată. Cel de-al doilea fascicul este trecut prin celula de măsurare ce traversează gazul care urmează a fi analizat, fiindu-i astfel redusă intensitatea ca urmare a absorbției gazului. Un detector este de asemenea compus din două camere umplute cu gaz, conectate cu ajutorul unui termistor adăugat în canal formând astfel un element pentru detecția fluxurilor mici.

4.4.2 Analizorul de NO_x (CLD)

Analizorul folosit pentru măsurarea emisiilor de NO_x sau CLD-ul (Chemiluminescence Detector) are la bază fenomenul de chemiluminiscență produs în urma unor reacții chimice a moleculelor de monoxid de azot dintr-o cameră de reacție încălzită și vidată.

Convertorul catalitic pe bază de sare de molibden are o eficiență de 90...97% și este amplasat în analizor înaintea camerei de reacție. Reacția NO-ului cu O₃ conduce la apariția moleculelor de NO₂ într-o stare de excitare, iar prin revenirea la starea stabilă aceste molecule eliberează energia acumulată în timpul reacției sub formă de fotoni cu o anumită lungime de undă. Concentrația de NO este direct proporțională cu emisia de lumină produsă, aceasta fiind măsurată cu ajutorul unei fotodiode sau fotomultiplicator.

4.4.3 Analizorul de HC sau THC (FID)

Măsurarea emisiilor de HC sau THC, se realizează prin intermediul analizorului cu detector de ionizare a flăcării FID (Flame Ionization Detector), acesta prezentând o mare sensibilitate la toate substanțele ce au în compoziția lor carbon și funcționând pe baza dependenței producției de electroni și ioni pozitivi ce iau naștere în timpul arderii hidrocarburilor. În interiorul analizorului eșantionul de gaz prelevat este omogenizat cu hidrogen diluat de un gaz inert, heliu, apoi ars într-o cameră încălzită cu scopul evitării condensării vaporilor de apă formați. Deoarece spațiul amenajat arderii se află într-un câmp electric menținut prin aplicarea unei diferențe de potențial de circa 300V, fluxul de curent electric dintre anodul și catodul sistemului este proporțional cu numărul de atomi de carbon ce participă la reacție, sarcinile electrice produse în flacără fiind colectate de acești electrozi.

Prin folosirea unui canal secundar ce transformă hidrocarburile globale cu excepția metanului în dioxid de carbon și apă se poate determina pe lângă concentrația de HC inclusiv concentrația CH₄. Obținerea rezultatelor este posibilă prin diferența dintre hidrocarburile totale și metan, acestea purtând denumirea de hidrocarburi fără metan NMHC (Non Metan Hidrocarbon).

Deoarece scara analizorului de HC este exprimată în concentrație de carbon (ppm-C), teoretic o moleculă de propan (C₃H₈) având 3 atomi de carbon ar trebui să aibă un factor de 3 iar pentru metan (CH₄) cu un singur atom, factorul ar fi 1, însă noțiunea de sensibilitate relativă complică puțin lucrurile. Concentrația de hidrocarburi corespunzătoare (la același număr de atomi de carbon) este proporțională cu indicația relativă, dar numărul de atomi de carbon în moleculă nu este strict proporțional cu cantitatea de hidrocarburi. Prin urmare, deși C₂H₆, C₂H₄ și C₂H₂ prezintă același număr de atomi de carbon, în general, vom avea un răspuns C₂H₂ > C₂H₆ > C₂H₄ pentru aceeași concentrație. De asemenea interferența cu oxigenul numită și „interferență de oxigen” face ca aceste analizoare să fie foarte sensibili la O₂ conform mecanismelor complexe.

4.4.4 Analizorul de oxigen (PMD)

Analizoarele folosite pentru măsurarea concentrațiilor de oxigen, din gazele arse sunt analizoare cu detectoare paramagnetice PMD (Paramagnetic detector) bazându-se pe sensibilitatea moleculelor de oxigen (care este semnificativ mai mare decât a altor gaze) într-un câmp magnetic [12, 13], fiind atrase spre cele două perechi de poli.

Modul de funcționare presupune magnetizarea alternativă a celor două perechi de poli cu ajutorul bobinelor de excitație, oxigenul din flotor fiind atras de perechea de poli ce blochează fluxul de azot din orificiul plasat în poli atâta timp cât fluxul de azot de partea cealaltă rămâne deblocat atunci când o pereche de poli este magnetizată. Diferența de presiune suplimentară creată în detector deplasează o diafragmă metalică care produce o energie electrică proporțională concentrației oxigenului din eșantionul prelevat. Ca urmare a dimensiunilor foarte mici a celului de măsură nu există timpi morți și mai mult măsurătoarea nu depinde de conductivitatea termică, de căldura specifică sau de frecarea gazului inert analizat datorită plasării detectorului în gazul de referință. Măsurătoarea este independentă de poziția aparatului ca urmare a utilizării unui câmp magnetic variabil ce face ca sistemul să nu detecteze scurgerile de bază la nivelul captorului.

Analizorul este lent, mentenanța acestuia este ușoară iar fiabilitatea lui este foarte ridicată, chiar dacă anumite gaze, în special NO_x-ul, pot perturba funcționarea ca urmare a proprietăților lor paramagnetice, într-o măsură mai mică decât O₂ (aproximativ la jumătate).

BIBLIOGRAFIE

- [1] ***Bancs d'essais moteurs et véhicules, accesat la data de 21.08.2019. Disponibil la: <https://www.ec-nantes.fr/plateformes-d-experimentation/bancs-d-essais-moteurs-et-vehicules/bancs-d-essais-moteurs-et-vehicules-182700.kjsp>.
- [2] Clenci, A., Motorul cu Ardere Internă. Economicitate. Poluare. Performanțe, Formare Renault, aprilie 2012.
- [3] LE GUEN H and all., Moyens spécifiques d'essais accesat la data de 21.08.2019. Disponibil la: <https://docplayer.fr/8262557-Moyens-specifiques-d-essais.html>.
- [4] Manual de întreținere pentru frâna cu curenți turbionali Horiba-WT190.
- [5] Module-00035646_2015_formation GazF, Formation Analyse de gaz & Mesure Particules, formare Renault pentru, martie 2015.
- [6] ***Bancs d'essais, accesat la data de 22.08.2019. Disponibil la: <https://www.btd.be/tests-mesures/banc-essai/>.
- [7] ***Mercedes-Benz AMG 6.3-litre V8 engine bench testing 5 of 12, accesat la data de 22.08.2019. Disponibil la: <https://www.motor1.com/photo/356387/mercedes-benz-amg-63-litre-v8-engine-bench-testing/>.
- [8] ***Homologation (type testing and model reports), accesat la data de 22.08.2019. Disponibil la: <https://www.tuev-hessen.de/en/25/service/homologation-type-testing-and-model-reports/>.
- [9] ***CONDUCTEUR (TRICE) DE BANCS D'ESSAIS A ROULEAUX D'ÉMISSIONS, accesat la data de 24.08.2019. Disponibil la: <http://www.gim-idf.fr/wp-content/uploads/2017/08/CQPM-0316-Manuel-d%C3%A9valuation-et-de-certification.pdf>.
- [10] Module_2-2_Bancs à Rouleaux, formare Renault pentru bancul cu rulouri martie 2007.
- [11] Formation bancs à rouleaux Clients DCMAP/DIMAT/DRTH, formare Renault pentru bancul cu rulouri, septembrie 2010.
- [12] Mollenhauer. K., Tschoke, H., *Handbook of Diesel Engine*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [13] Martyr, A.J., Plint, M.A., *Engine Testing - Theory and Practice*, editia a III -a. Oxford: Elsevier, 2007.

5 MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A UNUI AUTOVEHICUL ECHIPAT CU UN GMP HYBRID

5.1 Necesitatea modelării numerice și platforme de simulare

Spre deosebire de acum câteva decenii, unde faza de proiectare a MAI, presupunea realizarea calculelor și a desenelor pe hârtie și planșetă pentru construcția, fiabilitatea și dimensionarea acestora, astăzi constrângerile legislative și exigențele clienților, coroborate cu progresele înregistrate în domeniul informaticii, automatizării și al tehnicilor de calcul, permit realizarea de simulări complexe ce pot reproduce în totalitate condițiile de exploatare ale motorului, schimbarea de strategii de control și nu numai, reducând semnificativ timpul și costurile de fabricație ale autovehiculelor și ameliorând performanțele acestora.

În Europa pe lângă firmele constructoare de autovehicule, societăți specializate în domeniul ingineriei de sisteme, precum Sherpa Engineering, Siemens PLM Software, TESIS DYNAware, Ricardo, Exothermia S.A., etc., realizează modele matematice și simulări complexe pentru clienții din industria auto, reprezentând schematic un model matematic realizat în Matlab-Simulink pe baza unor biblioteci proprii (spre exemplu Sherpa) pentru un MAI supraalimentat cu GDI.

O platformă specializată în modelarea, simularea și analiza sistemelor multidomeniu este LMS Imagine.Lab Amesim deținută de societatea Siemens PLM Software. Aplicația oferă o gamă completă pentru modelizarea, simularea și analiza sistemelor inteligente multidomenii și estimează performanța lor multidisciplinară. Componentele modelelor sunt realizate utilizând modele analitice valide din punct de vedere al comportamentului real mecanic, hidraulic, electric sau pneumatic al sistemelor.

Din ansamblul de biblioteci pe care platforma de modelare-simulare le propune, fac parte următoarele domenii principale fundamentale:

- ✚ automată (comandă-control):
 - biblioteci: control și semnal, generator de semnale motor;
 - componente: blocuri continue, lectură de cartografi, funcții, componente logice, histerezis, semnal discret, rutaj, magistrală, comenzi ciclice;
- ✚ electrică și electronică:
 - biblioteci: electrică de bază, electromecanică, motoare electrice și pilotaj, conversie static electric, electrochimie, electricitate autovehicul.
 - componente: rezistențe, inductanță, condensator, transformator, baterie, alternator, mașini sincrone, mașini cu inducție, mașini de curent continuu, generatoare, transformarea Park directă, transformarea Park inversă, redresoare, invertoare, fire, siguranțe, relee, ventilatoare, suflante, lampi și becuri, sisteme de ștergere parbriz, bobine magnetice, acționatori piezoelectrice.
- ✚ mecanică:
 - biblioteci: mecanică 1-D (liniar și rotativ), mecanică plană, mecanică 3-D, came și tacheți, import de calcule cu element finit (FEM), grup motopropulsor, dinamica autovehiculelor, etc.
 - componente: mase, greutateți, amortizoare, culbutori, tacheți, pinioane și cremaliere, sisteme șurub piuliță, șurub fără sfârșit, leviere, angrenaje, rulmenți, garnituri, cuplaje, anvelope, etc.
- ✚ fluide:
 - biblioteci: hidraulică, concepția de componente hidraulice, rezistențe hidraulice, umplere, pneumatică, concepția de componente pneumatice, amestec de gaz, aer umed.

- componente: rezervoare, volume, orificii, pierderi de sarcină, coturi, extinderi, contracții, joncțiuni în T, rulmenți, bobine, pistoane, diafragme, membrane, scurgeri, garnituri, conducte hidraulice și pneumatice cu efecte de undă, tuburi flexibile, baze de date cu proprietăți ale fluidelor ca viteza sunetului, șoc, etc.

- ✚ termodinamică:
 - biblioteci: termică, termo-hidraulică, concepția de componente termo-hidraulice, termo-pneumatice, flux difazic, climatizare, sistem de răcire, schimbător de căldură .
 - componente: capacitore termice, conducție, convecție, radiație, schimbătoare, radiatoare, condensatoare, pompe, termostate, compresoare.

- ✚ motoare cu ardere internă:
 - biblioteci: IFP-conducere, IFP motoare, IFP evacuare CFD-1D, IFP C3D.
 - componente: motoare, cutii de viteză, arbore cotit, arbore cu came, cilindru, ardere, schimbul de căldură cu peretele, gestionarea umplerii cu aer a motorului, supape, compresoare, turbocompresoare, conducte, injectoare, post-tratare, catalizatoare, etc.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *** MOTEUR À COMBUSTION INTERNE, accesat la data de 25.08.2019. Disponibil la: <https://www.sherpa-eng.com/solutions/moteur-a-combustion-interne/>.
- [2] ALBRECHT, A., CORDE, G., THOMAS, V., Simulation systeme moteur: un element incontournable de la chaine de conception du controle moteur, Revue Ingénieurs de l'Automobile, Paris, FRANCE.
- [3] Oprean, I.M., Automobilul Modern. Cerințe, restricții, soluții, Editura Academiei Romane, București 2003.
- [4] BANCĂ Ghe., NIȘULESCU V. și FRĂȚILĂ Ghe. (2015)., Aspects regarding the evolution of the depollution norms and test cycles in order to determine polluting emissions. În: Proceedings of the European Automotive Congress EAEC-ESFA (C. Andreescu and A. Clenci (eds.)), 619-631, DOI 10.1007/978-3-319-27276-4_57, University Politehnica of Bucharest, Bucharest, Romania;
- [5] Les exigences des autres normes à l'international. Etudes des réglementations, Bible dépollution, Presentare Renault, mai 2014.
- [6] Proposal for a new global technical regulation on the Worldwide harmonised Light vehicles Test Procedure (WLTP), Economic Commission for Europe, World Forum for Harmonisation of Vehicle Regulations, 162nd session Geneva, 11-14 March 2014.
- [7] Tutorial LMS, Help AMESim Rev 12.
- [8] ***Cutia de viteze cu dublu ambreiaj (EDC) de la Renault, accesat la data de 25.08.2019. Disponibil la: <https://www.e-automobile.ro/categorie-transmisii/78-cutie-viteze-edc-renault.html>.
- [9] IVAN, F., LIȚĂ, D., BUȘOI, A., (2014). Metode și mijloace de depoluare ale motoarelor pentru automobile, Editura Matrix;
- [10] Pierre Michel, Alain Charlet, Guillaume Colin, Yann Chamaillard, Cedric Nouillant, Gerard Bloch, Energy management of HEV to optimize fuel consumption and pollutant emissions. 11th International Symposium on Advanced Vehicle Control, AVEC'12, Sep 2012, Seoul, South Korea. pp.CDROM, 2012;
- [11] Cezar Leandru Corneliu Babici, Control strategies for hybrid electric powertrain vehicles, PhD thesis, Iași 2012;
- [12] ***Ordre de réaction, accesat la data de 24.06.2016. Disponibil la: https://fr.wikipedia.org/wiki/Ordre_de_réaction.
- [13] DRVVEH4A, constant load vehicle with or without slip, Tutorial LMS, Help AMESim Rev12;
- [14] Aurel Stoicescu, Ion Tabacu, Marin Untaru, Gheorghe Pereș, Gheorghe Poțincu, Dinamica autovehiculelor cu roti, București 1981.
- [15] Tiberiu-Nicolae Macarie, Dinamica autovehiculelor, Pitești 2003.
- [16] Wolf-Heinrich Hucho, Aerodynamics of road vehicles, 1987.
- [17] Rory Lewis, Jason Bruke, Costa Mesa, Detailed vehicle thermal system modeling in ADVISOR through integration with FLOWMASTER2, 2000.
- [18] ***What is WLTP and how does it work?, accesat la data de 24.06.2016. Disponibil la: <https://wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/>.

6 CERCETAREA EXPERIMENTALĂ PENTRU UN AUTOVEHICUL ECHIPAT CU UN GMP HIBRID

Realizarea cercetării experimentale constă în studierea comportamentului unui autovehicul echipat cu un GMP hibrid, pe bancul cu role, pentru cele două cicluri europene de depoluare, NMVEG și WLTC. Suportul de încercare este un hibrid reîncărcabil de tipul Plug-In cu o arhitectură paralelă, comercializat începând cu sfârșitul anului 2014, încadrându-se în norma Euro 6. Sistemul GMP se compune dintr-un motor termic supraalimentat, cu injecție directă de benzină, a cărui cilindree este de 1400 cm^3 , dezvoltând o putere maximă de 110kW în plaja 5000...6000 rpm și un cuplu maxim de 250 Nm de la 1600 la 3500 rpm. Motorul termic este asistat de o cutie de viteze, dublu ambreiaj, cu 6 trepte ce integrază o mașină electrică reversibilă (motor electric și generator), aceasta din urmă dezvoltând 75kW și 330Nm, puterea maximă cumulată a celor două motoare ajungând la 150kW.

6.1 Realizarea încercărilor

În scopul realizării cercetării experimentale, autovehiculul a fost instrumentat corespunzător cu termocuple, traductori de presiune, picaje de prelevare a gazelor înainte și după catalizator iar achiziția datelor s-a realizat cu ajutorul a trei programe specializate INCA, DiagRA și VDSC (VAG-COM Diagnostic System).

De asemenea înainte de lansarea încercărilor propriu-zise autovehiculul a realizat, calajul sau adaptarea pe banc și aclimatizarea sau macerarea în sala de condiționare la o temperatură controlată de 22°C . Conversia datelor rezultate în urma încercărilor s-a făcut cu ajutorul instrumentului MDF Import disponibil pe site-ul Rezultatele cercetării experimentale pe BaR după ciclul NMVEG la 22°C .

Realizarea încercării pe ciclul NMVEG pentru cercetarea experimentală s-a realizat ținând cont de procedura urmărită la omologarea unui autovehicul echipat cu un GMP P-HEV, din care s-a reținut doar etapa ce prezintă interes pentru studiul nostru și anume realizarea unui NMVEG la rece cu menținere SOC din ziua a treia, acest ciclu fiind cel mai critic din punct de vedere al consumului de carburant și al emisiilor poluante. Pentru exemplificarea procedurii, s-a marcat pe axa timp exprimarea în zile deoarece, între anumite etape suntem condiționați de reîncărcarea bateriei la rețeaua de înaltă tensiune sau macerarea autovehiculului la 22°C .

Etapizarea procedurii de omologare pe zile presupune:

ziua 1:

- înlănțuirea a „n” cicluri NMVEG (NEDC) pentru a descărca bateria (modul de funcționare utilizat fiind modul ce permite urmărirea profilului de viteză concomitent cu descărcarea cât mai rapidă a bateriei, modul 100% electric), $n=4$ în cazul nostru având o autonomie în mod electric de aproximativ 50km;
- un ciclu fără recuperare de energie pentru atingerea unui SOC minim în baterie legat de cele „n” cicluri anterioare;
- un ciclu la cald cu menținere SOC legat de cel anterior;
- reîncărcarea bateriei de la rețeaua de înaltă tensiune cu înregistrarea SOC.

ziua 2:

- un ciclu în modul electric pentru a descărca bateria;
- realizarea unui rulaj stabilizat în mod electric pentru descărcarea completă a bateriei (rulajul în stabilizat se continuă până la demararea automată a MAI)
- macerare la 22°C ;

ziua 3:

- un ciclu la rece cu menținere SOC;
- reîncărcarea bateriei de la rețeaua de înaltă tensiune cu înregistrarea SOC.

ziua 4:

- realizarea unui stabilizat în mod electric pentru descărcarea completă a bateriei (rulajul în stabilizat se continuă până la demararea automată a MAI);
- reîncărcarea bateriei de la rețeaua de înaltă tensiune cu înregistrarea SOC.

Deoarece rezultatele încercării provin din mai multe surse de achiziție date, INCA, BaR, DiagRA, o primă etapă înaintea analizării rezultatelor a constat în sincronizarea parametrilor, pentru viteză și momente ale GMP-ului hibrid.

6.1.1 Rezultatele cercetării experimentale pe BaR după ciclul WLTC la 22°C

La realizarea cercetării experimentale pe ciclul WLTC s-a urmărit aplicarea procedurii prezentate în cadrul ciclului NMVEG, o sincronizare a parametrilor fiind de asemenea necesară. Această sincronizare s-a făcut pentru viteză, turație, raport angajat, respectiv pentru viteză și momente ale GMP-ului hibrid.

BIBLIOGRAFIE

[1] *** Service Training, Self-study Programme 537, The Golf GTE, accesat la data de 25.08.2019. Disponibil la: <https://manualzz.com/doc/32766336/sfp-537---the-golf-gte>.

[2] *** MDF Import Tool and Function, accesat la data de 25.08.2019. Disponibil la: <https://fr.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/9622-mdf-import-tool-and-function>.

7 CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI TENDINȚE VIITOARE DE CERCETARE

7.1 Concluzii rezultate în urma simulărilor realizate

- ✚ Evoluția normei de depoluare cu trecere de la Euro 5 la Euro 6, a implicat modificări ale limitelor emisiilor poluante pentru NO_x (de la 0.18 la 0.08g/km) doar în cazul autovehiculelor echipate cu MAC, însă severitatea normei Euro 6c este realizată de adoptarea noului tip de procedură de testare WLTP și a noului ciclu de încercare WLTC.
- ✚ În ceea ce privește emisiile de CO₂, pe motorul studiat, deși ciclul WLTC prezintă o severitate sporită din punct de vedere al încărcării, emisiile globale de CO₂ exprimate în [g/km] au rămas la același nivel prezentând o ușoară scădere.
- ✚ Caracteristica punctelor de funcționare turație-cuplu pe ciclul WLTC este la limita cuplului maxim furnizat de motor, funcționarea acestuia realizându-se într-o plajă apropiată de polul economic, unde motorul are un randament optim.
- ✚ Deși limita normei este respectată pentru emisiile de particule, creșterea vitezei de încărcare duce la declanșări de regenerări cu o frecvență mare, motiv pentru care o atenție deosebită va trebui acordată recalculării factorului Ki (factorului de regenerare).
- ✚ Date fiind rezultatele obținute în urma simulării, o reoptimizare a calibrării din punct de vedere punere la punct motor cât și o redimensionare a NO_xTrap-ului, poate fi luată în considerare pentru respectarea normei Euro 6c în ceea ce privește emisiile oxiziilor de azot.
- ✚ Din punct de vedere al emisiilor de HC/CO, ciclul WLTC nu prezintă riscuri de non-conformitate, având aceleași emisii de CO, fiind favorabil pentru reducerea de HC datorită unei sarcini ridicate pe ciclu ce duce la o amorsare rapidă a catalizatorului.
- ✚ În cazul cutiei de viteză DCT, oferta motorului termic nu se modifică din punct de vedere al emisiilor poluante și consum de combustibil însă cele 2 cutii de viteză pot fructifica mai bine această ofertă, mai ales prin optimizarea legilor de schimbare a treptelor de viteză.
- ✚ În lipsa optimizării legilor de schimbare a treptelor de viteză ce se impunea pentru obținerea unor performanțe ridicate din punct de vedere depoluare, cutia de viteză automatizată dublu ambreiaj confirmă obținerea de performanțe comparabile cu o cutie manuală, într-o plajă de 0-6%.
- ✚ Spre deosebire de cutiile de viteză automate cu convertizor ce oferă un confort sporit conducătorului auto, dar a căror eficiență este mai scăzută, impactând negativ emisiile poluante și consumul de carburant, cutiile de viteză automatizate dublu ambreiaj păstrează avantajele unei cutii de viteză manuală din punct de vedere depoluare, îmbunătățesc performanțele dinamice și oferă un confort sporit.
- ✚ Studiul evidențiază faptul că se pot obține rezultate favorabile din punct de vedere economicitate și ecologicitate prin recalibrarea motorului, respectiv a calculatorului cutiei de vi-teze în sensul obținerii unei conclucrări eficiente.
- ✚ Tehnologia « Hibrid Total » fără încărcare de la rețeaua domestică asociată motoarelor cu ardere internă performante, permite o reducere de CO₂ cu aproximativ 20% - 25% sau aproximativ 20g pentru un autovehicul din același segment, echipat cu un grup motopropulsor având caracteristici similare.
- ✚ Ca urmare a dezactivării motorului cu ardere internă pe ciclu de testare și ieșiri din regimul termic atât a motorului cât și al catalizatorului emisiile de CO evacuare sunt mai mari cu aproximativ 50% deși emisiile motor au crescut cu aproximativ 10%.
- ✚ În cazul simulărilor efectuate pe un autovehicul echipat cu un GMP Diesel hibrid și un sistem de post-tratare ce include un NO_x-Trap, chiar dacă s-a obținut o ameliorare notabilă a consumului de carburant prin utilizarea unui sistem de propulsie hibrid, impactul asupra emisiilor de NO_x este unul negativ atât asupra emisiilor motor (înainte de catalizator) dar

mai ales asupra emisiilor de evacuare (după catalizator), obținându-se o creștere cu peste 310% a acestor emisii, alte soluții de post-tratare, precum reducerea catalitică selectivă fiind necesare pentru revenirea la același nivel al emisiilor.

- ✚ Emisiile de PM au crescut cu aproximativ 160% ca urmare a unei sarcini suplimentare indusă de trecerea motorului electric în regim de generator pe ciclul extraurban, fapt ce conduce la o îmbogățire superioară limitei de 0,6 (coeficientul excesului de carburant mai mare de 0,6), limită peste care creșterea emisiilor de particule este exponențială.
- ✚ Trecerea la un sistem de propulsie ce utilizează un GMP-DHEV fără optimizarea riguroasă a gestionării energiei aduce un câștig semnificativ asupra emisiilor de CO₂ cu riscul degradării celorlalte emisii poluante.
- ✚ În regimurile tranzitorii de accelerare ce corespund celor 4 ECE-uri ale ciclului NMVEG și primelor 2 faze ale ciclului WLTC, utilizare urbană, tehnologia „Diesel Hibrid Total” fără încărcare de la rețeaua domestică, poate aduce câștiguri semnificative atât în ceea ce privește emisiile poluante HC/CO, NO_x, PM cât și prin reducerea consumului de carburant, în cazul studiului realizat, 0 emisii poluante, 0 emisii de CO₂ pentru SOC = 82% respectiv 41%.
- ✚ La utilizarea urbană a unui autovehicul „Diesel Hibrid” a cărei baterie este descărcată, în cazul simulării realizate pentru SOC = 2%, pe regimurile tranzitorii de accelerare, motorul termic fiind sursa principală de energie, emisiile poluante provin în întregime de la acesta, motiv pentru care o bună optimizare a calibrării motorului termic este necesară.
- ✚ În cazul utilizării autovehiculului a cărui baterie este descărcată, trecerea de la un regim termic de funcționare al motorului la altul (rece ~ 20°C la cald ~85°C) este însoțită de o reducere a emisiilor poluante pe regimurile tranzitorii ca urmare a reducerii frecărilor interne ale motorului. Pentru simularea realizată, pe anumite regimuri de funcționare, emisiile poluante s-au redus cu până la 100% în funcție de poluant și cât timp MAI este în funcțiune.
- ✚ Ca urmare a activării motorului termic (viteză vehicul > 55km/h) la utilizarea extra-urbană a autovehiculului în ceea ce privește emisiile de NO_x și PM s-a observat că SOC are o puternică influență negativă doar în cazul regimului a13 (prima accelerare 0-70km/h), starea de încărcare a bateriei lipsind motorul termic de aportul cuplului motorului electric.
- ✚ Se cunoaște faptul că ieșirea motorului din regimul termic de funcționare are consecințe negative atât asupra consumului de combustibil cât și asupra poluanților.

7.2 Contribuții personale

Cercetările teoretice realizate prin modelare-simulare și pe cale experimentală desfășurate pe parcursul perioadei de doctoratură coroborate cu elaborarea lucrării de doctorat evidențiază o serie de contribuții personale ale autorului dintre care menționez:

- studiul sistemelor asupra emisiilor poluante provenite de la autovehiculele rutiere, particularitățile specifice poluării atmosferei produsă de circulația autovehiculelor prin efectele nocive induse asupra sănătății umane și a mediului înconjurător;
- studiul sistematic asupra reglementărilor legale în vigoare privind limitele concentrațiilor poluanților chimici existenți în gazele de evacuare ale autovehiculelor rutiere;
- se evidențiază rolul modelării matematice în studiul concentrațiilor de poluanți chimici din gazele de evacuare ale motoarelor autovehiculelor;
- se evidențiază corelația dintre caracteristicile regimurilor de funcționare, concentrațiile poluanților chimici din gazele de evacuare și consumul de combustibil;
- studierea și descrierea detaliată a modelelor matematice aplicate în contextul utilizării platformei AMESim;

- conceperea, dezvoltarea, optimizarea și calibrarea modelului folosind platforma de simulare AMESim pentru cercetarea sistemelor de depoluare ale autovehiculelor echipate cu un GMP - hibrid;
- elaborarea unei scheme a modelului integrat propus folosind platforma AMESim în vederea estimării performanțelor economice și ecologice ale unui autoturism de clasă medie echipat cu un GMP - hibrid;
- identificarea și prezentarea rezervelor pe care le are un autoturism de clasă medie echipat cu un GMP - hibrid sub aspect economic și ecologic;
- evidențierea principalelor avantaje oferite utilizând, platforma de modelare-simulare AMESim la dezvoltarea autovehiculelor echipate cu un GMP - hibrid;
- stabilirea metodelor și procedurilor de cercetare experimentală cu evidențierea claselor de regimuri cu pondere semnificativă de influență asupra performanțelor economice și ecologice;
- pornind de la investigarea rezervelor ofertelor de putere a celor două motoare ale unui GMP - hibrid și de la stabilirea claselor de regimuri cu influență semnificativă asupra performanțelor economice și ecologice s-au dezvoltat la stand programe de cercetare care au permis calibrarea modelului folosind platforma AMESim.

7.3 Tendințe viitoare de cercetare

Lucrarea de doctorat a permis autorului, pe de-o parte, să aducă o serie de contribuții teoretice și experimentale cu privire la cercetarea sistemelor de depoluare ale autovehiculelor echipate cu GMP-hibrid, iar pe de altă parte să pună în evidență o serie de perspective și direcții de continuare a cercetărilor. Dintre acestea enumerăm:

1. extinderea și dezvoltarea modelelor de simulare care să evidențieze comportamentul unui autoturism de orice clasă, atât pe ciclurile actuale legiferate de încercare, cât și pe noul ciclu de testare WLTC. Aceste modele matematice pot fi utilizate și în studierea comportamentului autovehiculului echipat cu un GMP - hibrid pentru alte cicluri de încercare RDE95, UTM, BEAUNE, CaraFaP, etc.
2. identificarea rezervelor disponibile pentru fiecare clasă de autovehicul din punct de vedere dinamicitate, economicitate și ecologicitate prin stabilirea unor strategii de ameliorare a acestor performanțe.
3. integrarea și utilizarea extinsă a modelelor propuse în medii de simulare care să permită anticiparea unor soluții tehnice a MAI (raport de comprimare variabil, dezvoltarea pre-camerei de ardere cu jet turbulent, etc.) capabile să răspundă viitoarelor cerințe impuse constructorilor de autovehicule.