

**Dragoș Tutunea**

# **POLUARE ÎN TRANSPORTURI**



**EDITURA UNIVERSITARIA  
Craiova, 2013**

## Cuprins

<b>Capitolul 1 Generalități privind economia de combustibil și limitarea emisiilor la motoarele pentru autovehicule</b>	5
1.1 Introducere asupra posibilităților de creștere a economicității	5
1.2 Aspecte privind protecția mediului ambiant	8
1.2.1 Măsurarea gradului de poluare în mediu urban	8
1.2.2 Dependența gradului de poluare față de intensitatea traficului	9
1.2.3 Gradul de poluare al orașelor	11
1.3 Analiza parametrilor motoarelor privind creșterea randamentelor, termic și mecanic	15
1.3.1 Influența raportului de comprimare, dimensiunilor cilindrului și materialelor pentru pistoane și chiulasă	16
1.3.2 Influența intensității răcirii, formei camerei de ardere și coeficientului de umplere	16
1.3.3 Influența factorilor de exploatare	17
<b>Capitolul 2 Combustibili convenționali și neconvenționali</b>	21
2.1 Combustibili convenționali	21
2.2 Proprietăți fizice și chimice ale hidrocarburilor	23
2.2.1 Compoziția fracționată	24
2.2.2 Densitatea	25
2.2.3 Viscositatea	26
2.2.4 Tensiunea superficială	26
2.2.5 Cifra cetanică și indicele diesel	26
2.2.5 Cifra octanică	27
2.2.6 Standarde Diesel	27
2.2.7 Standarde benzină	30
2.3 Combustibili neconvenționali	31
2.3.1 Uleiuri vegetale	31
2.3.1.1 Intervalul de distilare	32
2.3.1.2 Viscositatea	33
2.3.1.3 Cifra cetanică	33
2.3.1.4 Puterea calorifică	33
2.3.1.5 Comportarea la temperaturi joase	33
2.3.1.6 Stabilitatea la stocare	34
2.3.2 Biodiesel	35
2.3.2.1 Punctul de inflamabilitate	36
2.3.2.2 Puterea calorifică	37
2.3.2.3 Viscositatea	37
2.3.2.4 Punctul de congelare	38
2.3.2.5 Cifra cetanică	39
2.3.2.6 Standarde pentru combustibili de tip biodiesel	40
2.3.2.7 Emisii poluante biodiesel	43

2.3.3 Alcoolii	45
2.3.4 Gaz petrol lichefiat	49
2.3.4.1 Emisii GPL	51
2.3.5 Hidrogenul	51
2.3.5.1 Emisii hidrogen	53
<b>Capitolul 3 Arderea în m.a.i. Mijloace active de reducere a emisiilor poluante</b>	<b>55</b>
3.1 Arderea în m.a.i.	55
3.2 Procesul arderii în m.a.s.	55
3.3 Mijloace active de reducere a emisiilor poluante la mas	57
3.3.1 Schimbul de gaze	58
3.3.2 Utilizarea amestecurilor omogene	60
3.3.2.1 Injecția de benzină	60
3.3.2.2 Camera de ardere	61
3.3.3 Utilizarea amestecurilor stratificate	63
3.3.4 Camera de ardere divizată	63
3.3.5 Injecția directă de benzină	64
3.4 Procesul arderii în m.a.c.	69
3.5 Mijloace de reducere activă a emisiilor poluante la mac	70
3.5.1 Procesele de formare a amestecului aer combustibil și arderea	71
3.5.1.1 Camera de ardere	71
3.5.1.2 Recircularea gazelor arse	72
3.6 Modificarea cilindrului	73
3.7 Dezactivarea cilindrilor	73
3.8 Modificarea raportului de comprimare	74
<b>Capitolul 4 Formarea emisiilor poluante în m.a.i.</b>	<b>77</b>
4.1 Generalități	77
4.2 Monoxidul de carbon	79
4.3 Oxizii de azot	81
4.4 Hidrocarburi	82
4.5 Oxizi de sulf	84
4.6 Particule	85
4.7 Fumul	86
4.8 Ozonul	87
4.9 Norme antipoluare	87
<b>Capitolul 5 Metode pasive de reducere a emisiilor poluante.</b>	<b>91</b>
<b>Convertorul catalitic</b>	
5.1 Generalități	91
5.2 Tipuri de catalizatori	91
5.2.1 Catalizatorul cu dublă acțiune	94
5.2.2 Catalizatorul cu triplă acțiune	94

5.2.3 Catalizatorul și filtrul de particule pentru motoarele Diesel	97
5.3 Gradul de conversie	98
5.4 Durabilitatea catalizatorului	100
5.4.1 Temperatura catalizatorului	100
5.4.2 Calitatea combustibilului	101
5.4.3 Pierderea de strat catalitic	103
5.4.4 Durabilitatea catalizatorului cu triplă acțiune	103
5.5 Încercarea catalizatorilor	104
5.6 Controlul funcționării catalizatorului	105
5.7 Prognoze în dezvoltarea catalizatorilor europeni	106
<b>Capitolul 6 Supraalimentarea motoarelor</b>	107
6.1 Generalități	107
6.2 Supraalimentarea mecanică	108
6.3 Turbo supraalimentarea	109
6.3.1. Turbina cu geometrie fixă	112
6.3.2 Turbina cu geometrie variabilă	113
6.4 Avantajele turbo supraalimentării	114
<b>Capitolul 7 Surse de propulsie alternative</b>	117
7.1 Generalități	117
7.2 Propulsia hibridă	117
7.2.1 Sistem de propulsie hibrid electric	118
7.2.2 Sistem de propulsie hibrid hidraulic	120
7.2.3 Sistem de propulsie hibrid pneumatic	121
7.3 Propulsia electrică	122
7.4 Propulsia cu hidrogen	123
7.5 Motorul Stirling	125
7.6 Motorul Wankel	128
7.7 Motorul Revetec	131
7.8 Turbina cu gaze	131
<b>Bibliografie</b>	133

# **Capitolul 1**

## **Generalități privind economia de combustibil și limitarea emisiilor la motoarele pentru autovehicule**

### **1.1 Introducere asupra posibilităților de creștere a economicității**

Dezvoltarea producției globale din ultimul secol, concomitent cu creșterea populației și a consumului de energie colaborate cu necesitățile de materii prime pentru industrie au accentuat conflictul dintre procesele de dezvoltare economico-socială și resursele naturale, cu urmări tot mai îngrijorătoare asupra echilibrului ecologic al planetei. La momentul actual dezvoltarea economică și socială necesită atragerea în circuitul economic a unor resurse naturale neregenerabile disponibile în cantități finite.

"Cererea totală de energie în 2030 va fi cu circa 50% mai mare decât în 2003, iar pentru petrol va fi cu circa 46% mai mare. Rezervele certe cunoscute de petrol pot susține un nivel actual de consum doar până în anul 2040, iar cele de gaze naturale până în anul 2070, în timp ce rezervele mondiale de ulei asigură o perioadă de peste 200 de ani chiar la o creștere a nivelului de exploatare. Previziunile indică o creștere economică, ceea ce va implica un consum sporit de resurse energetice. Din punct de vedere al structurii consumului de energie primară la nivel mondial, evoluția și prognoza de referință realizată de Agenția Internațională pentru Energie (IEA) evidențiază pentru perioada 2010 - 2020 o creștere mai rapidă a ponderii surselor regenerabile, dar și a gazelor naturale. Se estimează că, aproximativ un sfert din nevoile de resurse energetice primare, la nivel global, vor fi acoperite în continuare de cărbune. Concomitent cu creșterea consumului de energie va crește și consumul de cărbune. Creșterea cererii de energie, combinată cu factori geopolitici, în special situația din Orientul Mijlociu, au determinat în prima decadă a secolului XXI creșterea prețului țițeiului care a indus și creșteri ale prețurilor gazelor naturale. Un alt factor care a determinat creșterea prețului la produse petroliere pe plan mondial a fost lipsa capacităților de rafinare, problemă care necesită identificarea unor soluții pe termen mediu și lung. La toate acestea s-a adăugat și tendința manifestată de unele state, de suplimentare a stocurilor pentru a face față situațiilor de criză. Elementele de mai sus stau la baza reorientării politicilor energetice ale țărilor care sunt net importatoare de energie, în sensul creșterii atenției acordate resurselor regenerabile de energie și îmbunătățirii eficienței energetice. Totodată, în mai multe țări se reanalizează opțiunea nucleară, în urma evenimentelor de la Fukushima – Japonia din anul 2011"[1].

Se poate aprecia că, în condițiile în care sursa principală de energie, și anume combustibilul mineral, nu constituie o problemă, cel puțin din punctul de vedere al rezervelor, pentru încă aproximativ două generații, ținta principală a

cercetărilor o constituie reducerea emisiilor poluante și creșterea economicității autovehiculelor.

Până de curând, industria era considerată ca fiind principala sursă de poluare a planetei. Odată cu dezvoltarea accelerată a transporturilor și, în special, prin anvergura producției de autovehicule, balanța surselor de substanțe toxice și efecte neplăcute și-a schimbat înclinarea, transportul devenind sursa principală de agresiune asupra mediului și a sănătății umane [2].

Ținând seama de rezervele limitate de combustibili convenționali pentru autovehicule și de ritmul ridicat de dezvoltare a activităților economice și sociale, cercetarea științifică trebuie să rezolve unele probleme fundamentale la nivel macroeconomic sau pe ramuri [3], cum ar fi:

- optimizarea consumului general de energie pe locuitor și de combustibili petrolieri în special;
- analiza avantajelor și dezavantajelor diferitelor mijloace de obținere și furnizare a energiei pentru nevoile industriei, transporturilor și alegerea celor mai convenabile soluții având în vedere resursele disponibile, posibilitățile și perspectivele de conversie a energiei neconvenționale, valorificarea eficientă a resurselor secundare;
- optimizarea distribuției sistemelor de transport individual și în comun din punctul de vedere al duratei deplasărilor, confortului, economicității, siguranței, protecției mediului înconjurător și al asigurării rezervelor de creștere a mobilității populației și de circulație a mărfurilor;
- cercetarea posibilităților de obținere și de utilizare pentru transporturi a combustibililor neconvenționali cum ar fi gazele naturale, produsele sintetice pe bază de cărbune, alcoolurile și uleiurile obținute din produse vegetale, metanolul sau amoniacul obținute ca produse secundare în industrie, hidrogenul, etc;
- cercetarea posibilităților de extindere a tracțiunii electrice la unele activități de transport.

La motoarele cu ardere internă actuale, cu toate progresele realizate, o proporție relativ modestă din energia eliberată de combustibil în cilindrul motorului se livrează sub formă de energie mecanică utilă pentru propulsie sau tracțiune. În același timp însă, motorul cu ardere internă actual transformă în energie mecanică mai mult de 90-95 % din căldura ce se poate transforma de către motor în structura sa existentă în prezent.

Pierderile de căldură din căldura netransformabilă încă în energie mecanică nu se pot imputa motorului propriu-zis, ci modului în care se transformă căldura în energie mecanică, respectiv concepției ansamblului instalației energetice pentru propulsie. Pierderile cu adevărat proprii motorului în structura actuală sunt cele datorate frecării la piesele aflate în mișcare, energiei consumate pentru antrenarea echipamentelor auxiliare, scăderea randamentului la unele regimuri de funcționare datorită înrăutățirii schimbului de gaze, formării amestecului și arderii, necorelării condițiilor de răcire și de ungere cu regimul de sarcină și turație sau cu caracteristicile mediului înconjurător etc. De asemenea trebuie avute în vedere și rezervele de creștere a randamentului la motoarele realizate în structura actuală prin supraalimentare [3].

Prin urmare, în fața concepției se pun atât problemele schimbării structurilor instalațiilor energetice pentru a se mări proporția căldurii transformate în energie mecanică utilizabilă la propulsia autovehiculelor cât și optimizarea largă, la toate regimurile, a proceselor de schimb de gaze, de formare a amestecului și de ardere, apelându-se la faze variabile de distribuție a gazelor, controlul electronic al debitării combustibilului, controlul electronic al corelării proceselor din motor cu condițiile mediului ambiant. O mare rezervă de îmbunătățire a economicității o constituie optimizarea proceselor de schimb de gaze, de formare a amestecului și de ardere la regimuri tranzitorii, aceste regimuri având o pondere mare în totalul timpului de funcționare a motorului în exploatare. Soluțiile cele mai eficiente de optimizare a acestor regimuri tranzitorii sunt bazate pe controlul electronic al proceselor, apelându-se la senzori de înaltă sensibilitate și echipamente de calcul și de comandă cu viteze mari de acțiune.

De asemenea, cercetările științifice trebuie să fie concentrate și în direcția reducerii în continuare a pierderilor prin frecare, prin introducerea unor tehnologii noi de durificare a suprafețelor aflate în frecare și de finisare a acestora, prin utilizarea unor materiale noi, inclusiv a materialelor de protecție ceramice, prin utilizarea unor lubrifianți cu proprietăți superioare sau a unor fenomene antiuzură cu efecte benefice pentru reducerea pierderilor prin frecare, prin optimizarea jocurilor și a macrogeometriei, respectiv microgeometriei pieselor conjugate, prin implementarea celor mai noi descoperiri din domeniul tribologiei [3].

La nivel mondial, toți factorii implicați în construcția de autovehicule, dezvoltă programe de cercetare pentru realizarea de prototipuri care să se încadreze într-un consum mult mai mic de combustibil. În vederea atingerii acestui țel, au fost emise trei direcții de acțiune:

**a.** Reducerea consumului de combustibil, prin folosirea unor soluții tehnice noi. Luând ca bază de plecare motorul modern cu patru supape pe cilindru, au fost stabilite următoarele rezerve privind creșterea economicității, în ciclul de testare european:

- la îmbunătățirea recirculării gazelor de evacuare - 5%;
- la arderea amestecurilor sărace - 8%;
- la dezactivarea cilindrilor - 14%;
- la distribuția variabilă - 15%;
- la arderea stratificată - 18%.

Se apreciază că, față de motorul actual care funcționează cu amestec stoichiometric, luat ca referință, motorul cu patru supape pe cilindru și care funcționează cu amestec omogen poate realiza o reducere de consum de circa 10% și niveluri de emisii  $\text{NO}_x$  de 0,93 g/km. Prin stratificarea amestecului s-ar putea ajunge la o economie de combustibil de circa 12% și emisii de  $\text{NO}_x$  de 0,75 g/km.

**b.** Proiectarea rațională a autovehiculului din punctul de vedere al consumului de combustibil înseamnă nu numai adoptarea soluțiilor optime pentru subsistemele lui, ci și optimizarea masei și formei acestuia. O importanță deosebită pentru viitor o capătă folosirea materialelor plastice care se potrivesc la realizarea pieselor cu forme complexe, pot rezista la șocuri ușoare fără deformații plastice, nu

corodează și pot fi mai ieftine ca oțelul. Până în 2015 se preconizează ca aproximativ 20% din masa autovehiculului să fie masă plastică. Reducerii cu 10% a greutateii și se asociază reducerea previzibilă cu circa 20% a coeficientului de rezistență a aerului și a coeficientului de rezistență la rulare cu 15%.

c. Utilizarea mai eficientă a energiei disponibile implică, pe de o parte, o nouă concepție a sistemului electronic al funcționării motorului, iar pe de altă parte, optimizarea transmiterii energiei mecanice la roți. Noul sistem va trebui să mențină funcționarea motorului numai la regimul de consum minim, indiferent de regimul de exploatare. Constructorilor de autovehicule le revine sarcina de a armoniza cerințele contradictorii, referitoare la pretențiile cumpărătorilor, emisiile poluante, consumul de combustibil, securitate, confort, costuri și performanțe.

## **1.2 Aspecte privind protecția mediului ambiant**

### **1.2.1 Măsurarea gradului de poluare în mediu urban**

În anul 1900 14% din populația lumii trăia în orașe, cinci ani mai târziu populația a crescut la 30% iar în anul 2003 la 48%; astăzi jumătate din populație trăiește în orașe iar predicțiile arată că până în anul 2030 60% din populație va trăi în orașe [4]. În Europa, aproximativ 75% din populație trăiește în zone urbane [5]. În ultimele două secole orașele s-au dezvoltat de la un teritoriu relativ restrâns devenind un conglomerat de peste zeci de kilometri de teren semi-suburban/semi-rural, cu zone comerciale, parcuri de birouri și de locuințe [6].

În marile metropole, concentrația poluanților poate ajunge la valori foarte mari, formându-se prin însumarea concentrației de bază rezultată din activitățile industriale curente sau fondului natural remanent și concentrației rezultate din emisiile de poluanți de la autovehicule, care depinde în mare măsură de intensitatea traficului auto.

Pentru stabilirea gradului de poluare a atmosferei în marile aglomerări urbane se efectuează multiple măsurători, unele dintre acestea punând în evidență aportul pe care îl aduc automobilele atât la formarea concentrației generale a poluanților, cât și la emisiile unor substanțe cu grad mare de toxicitate, specifice numai motoarelor de autovehicule. Pentru a se putea compara rezultatele măsurătorilor din diferite orașe sau din diferite zone ale aceluiași oraș, trebuie să se țină seama de o serie de factori de influență. Printre acești factori, poziția punctului de măsurare prezintă o importanță foarte mare, depinzând de intensitatea traficului, distanța față de zona traficului și înălțimea de la care se face măsurarea. O influență deosebită o are ventilația în zona punctului de măsurare, ventilație ce depinde de prezența și structura construcțiilor și a vegetației, de existența intersecțiilor sau spațiilor libere, etc. De asemenea, are o importanță semnificativă, modul în care sunt conduse autovehiculele, regimurile de lucru ale motoarelor sau frecvența blocajelor din trafic. În cazul blocajelor de circulație concentrația poluanților crește brusc. În consecință, este de dorit ca măsurătorile să se efectueze prin prelevare de probe chiar din zona benzilor de circulație și într-un număr cât mai mare de puncte



prestabilite. Este necesară măsurarea într-o perioadă cât mai îndelungată, prezentând interes atât valorile medii, cât și cele maxime.

Măsurătorile efectuate într-o serie de orașe au arătat că nivelul poluării aerului provocate de motoarele autovehiculelor pe arterele de circulație nu depinde de mărimea orașului, ci de intensitatea traficului, în timp ce valorile medii pentru întregul oraș depind și de mărimea orașului [3].

Mediul urban este un mare consumator de resurse, un producător major de emisii poluante rezultate din industrie, trafic și alte surse difuze de combustie, fiind caracterizat de o densitate mare a populației și de concentrarea surselor de poluare. Totodată, transporturile auto, prin creșterea numărului de autovehicule, constituie din ce în ce mai mult o principală sursă liniară de polare a atmosferei.

Emisiile de poluanți ale autovehiculelor prezintă două particularități:

- În primul rând eliminarea se face foarte aproape de sol, fapt care duce la realizarea de concentrații ridicate la înălțimi foarte mici.

- Emisiile se fac pe întreaga suprafață a localităților care sunt traversate de artere de circulație rutieră cu trafic intens, concentrațiile de poluanți emise în atmosferă depinzând de intensitatea traficului și posibilitățile de ventilație a străzii.

Calitatea aerului în așezările urbane este evaluată pe baza măsurătorilor efectuate pentru principalii poluanți atmosferici și prin calcul (inventarul emisiilor din surse fixe și mobile) [7].

### 1.2.2 Dependența gradului de poluare față de intensitatea traficului

În cazul emisiilor nocive datorate autovehiculelor, gradul de poluare are o dependență liniară de intensitatea traficului, exprimată prin numărul de autovehicule care trec printr-un punct de control în unitatea de timp.

În Fig.1.1 se prezintă pentru exemplificare dependențele stabilite de Hunigen prin prelucrarea statistică a datelor obținute la măsurători [3].

Din figură rezultă că pentru toți poluanții se pot stabili relații de forma,

$$k = a + b \cdot N \quad (1.1)$$

unde  $k$  reprezintă concentrația poluantului respectiv,  $N$  - numărul de autovehicule pe oră, iar  $a$  și  $b$  sunt coeficienți.

În figură s-au notat cu indice  $a$  variațiile concentrației poluanților pentru măsurătorile făcute în condițiile traficului în care autovehiculele echipate cu motoare cu aprindere prin scânteie au în medie o pondere 84%, iar cu  $b$  - pentru cazul în care același tip de autovehicule are o pondere mai mare.

Pentru determinarea coeficienților din relația 1.1 s-a folosit o metodă statistică de calcul cu regresii. Variațiile liniare date, nu țin seama de factorii meteorologici. În privința traficului trebuie să se amintească faptul că există un prag de saturație al acestuia. Dacă se consideră  $l$  lungimea medie a unui autovehicul și  $a$  distanța medie dintre autovehiculele ce se deplasează cu viteza  $v$  în km/h, numărul mediu de autovehicule ce trec printr-un punct într-o oră este:

$$N = \frac{10^3 \cdot v}{a + l} \quad (1.2)$$

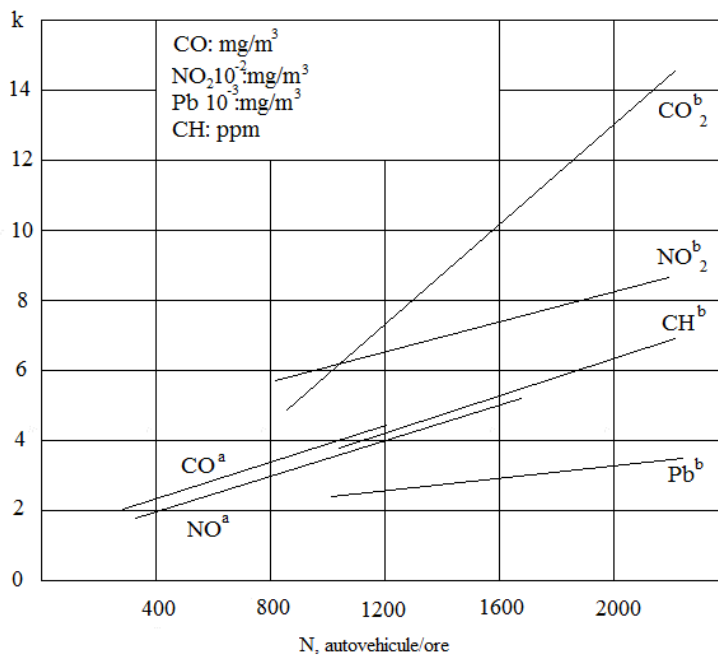


Fig.1.1 Influența intensității traficului asupra gradului de poluare [3]

Pentru o singură bandă de rulare, considerându-se distanța dintre două autovehicule dedusă în funcție de viteza de deplasare  $v$ , se obține pentru cazul lungimii autoturismelor de 4 m următoarele valori ale numărului maxim de autovehicule  $N_{\max}$  care pot să circule fluent pe o arteră.

Procesului de saturare a traficului ar trebui să-i corespundă concentrația maximă de poluanți pentru circulația fluentă, iar la blocări ale traficului, când distanța dintre automobile se micșorează și regimul de funcționare al motoarelor se schimbă nefavorabil pot crește concentrațiile unor poluanți ca oxidul de carbon și hidrocarburile. Prin urmare, pentru circulația în mediul urban este important să se parcurgă distanțe cât mai mari cu fiecare kg de combustibil consumat, în scopul asigurării rezervelor de creștere a mobilității populației și de circulație a mărfurilor cu emisii cât mai mici de poluanți.

Tabelul 1.1 Influența vitezei autovehiculului asupra circulației rutiere [3]

$v$ [km/h]	5	10	20	30	40	50	60
$a$ [m]	6	7	8	8	10	12	14
$N_{\max}$ [vehicule/oră]	500	910	1660	2500	2860	3120	3330

Deci este necesară organizarea și reglementarea circulației, în așa fel încât să se asigure la nivelul întregului parc de autovehicule consumarea celor mai mici cantități de combustibil pe unitatea de activitate utilă de pasageri (pasageri-kilometri, tone-kilometri), acestor condiții urmând să le corespundă și cele mai mici cantități de poluanți deversate în atmosferă de către motoarele