

Filtre de particule

Particulele sunt definite implicit prin metoda de măsurare, ca totalitatea materiei colectate pe un filtru de teflon la trecerea gazelor arse emise de motorul cu aprindere prin comprimare, gaze care au fost diluate cu aer filtrat pentru menținerea temperaturii acestora sub 52 °C. Acest nou poluant astfel definit cuprinde practic toate emisiile solide și lichide cuprinse în gazele de evacuare ale motoarelor cu ardere internă, care sunt apreciate gravimetric, mai exact decât măsurările opacității fumului.

Revenind la cazul particulelor emise de m.a.c., se apreciază, din punct de vedere cantitativ, că din cele 0,3 % din gazele arse care sunt dăunătoare sănătății 0,005 % sunt particule.

Particulele sunt alcătuite din o fracțiune insolubilă de carbon, cunoscută sub denumirea de funingine, compuși metalici și o fracțiune solubilă, formată din combustibil și ulei nears. Compoziția particulelor depinde de regimul de funcționare al motorului, observându-se că o dată cu creșterea sarcinii și, într-o anumită măsură, cu creșterea turației, are loc scăderea procentului reprezentat de fracțiunea organică solubilă (SOF) și creșterea fracțiunii insolubile, alcătuită în principal din carbon amorf.

Particulele emise de m.a.c. sunt foarte mici și nu au intrat până de curând în atenția legislatorilor, decât prin prisma măsurării fumului și a compoziției chimice a gazului de eșapament. Or, experții în medicină estimează că ele provoacă sau întrețin boli cum ar fi astmul, bronșita cronică sau emfizemul pulmonar; de asemenea, după clasificarea internațională a substanțelor chimice, ele sunt încadrate în grupa substanțelor care au probabilitate mare de a produce cancerul. Efectele asupra sănătății produse de particule depind de dimensiunile acestora, de modul în care acestea pătrund în organism, ca și de capacitatea organismului de a le elimina sau neutraliza. Particulele m.a.c. sunt suficiente de mici pentru a se depune în traiectul respirator. Particulele mai mari de 0,3 μm sunt eliminate din traiectul respirator, în timp ce restul (70 % masic) pot pătrunde în plămâni.

Problema fundamentală a particulelor din gazele arse este că sunt prea diluate pentru a putea arde, de aceea cea mai răspândită metodă este concentrarea lor într-un filtru. Funcționarea filtrului implică două faze de lucru: perioada de filtrare și acumulare a particulelor și perioada de regenerare, prin care particulele colectate sunt fie oxidate, fie înlăturate, astfel încât filtrul să poată lucra din nou. Filtrele de particule sunt dispozitive proiectate încă de la sfârșitul anilor '70, în scopul reținerii și oxidării particulelor conținute în gazele de evacuare ale motoarelor diesel.

Clasificarea filtrelor de particule s-a făcut după mai multe criterii, fără pretenția de a fi exhaustivă:

- după procedeul de colectare a particulelor:
 - prin reținere mecanică – structuri celulare sau fibroase având suprafețe mari de depunere și canalizații înguste pentru trecerea gazelor arse;
 - prin reținere electrostatică – prin producerea efectului Corona, particulele electrizate se aglomerează și pot fi colectate;
- după natura materialului filtrant:
 - filtre metalice;
 - filtre ceramice;
- după tipul regenerării:
 - regenerare termică – cu aport de energie, în scopul creșterii temperaturii gazelor arse până la valori de 550... 600 °C pentru oxidarea particulelor:
 - electrică, cu rezistor de încălzire;
 - cu microunde;
 - cu arzător de combustibil suplimentar;
 - cu obturarea admisiei;
 - cu obturarea evacuării;
 - regenerare chimică – cu reacții catalitice care produc oxidarea particulelor la temperaturi mai scăzute ale gazelor de evacuare:
 - cu depuneri sau injectare de catalizatori în filtru;
 - cu aditivarea combustibilului;
 - regenerare combinată (termică și chimică);
 - regenerare mecanică – prin suflare cu aer comprimat;
- după periodicitatea regenerării:
 - regenerare periodică;
 - regenerare continuă;
- după locul de producere a regenerării:
 - regenerare externă – oxidarea particulelor din filtru are loc după colmatarea acestuia prin folosirea unui arzător extern;
 - regenerare internă – oxidarea particulelor are loc în filtru, prin acțiunea sistemului propriu de regenerare.

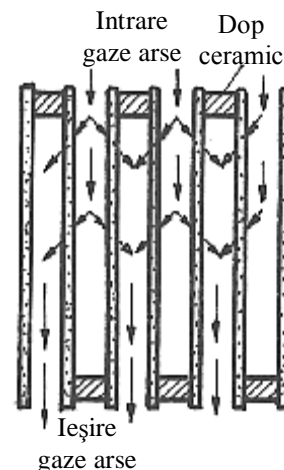
Filtrele de particule urmăresc reținerea particulelor, urmată de curățarea periodică prin diferite procedee. Funcție de procedeul de reținere a particulelor s-au dezvoltat mai multe tipuri de filtre și procedee de regenerare, dintre care s-au dovedit eficiente în funcționarea pe autovehicule cele prezentate în continuare.

Filtrul ceramic pentru reținerea particulelor se aseamănă cu elementul convertorului catalitic triplu specific motoarelor cu benzină. Monolitul ceramic este format dintr-un corp ceramic cu secțiune circulară sau ovală, care are aspect de fagure, datorită canalelor care îl străbat. Materialul ceramic din care este alcătuit se numește cordierit și conține în principal oxid de magneziu (MgO), oxid de aluminiu (Al_2O_3) și dioxid de siliciu (SiO_2).

Formula chimică de bază a cordieritului este $2MgO - 2Al_2O_3 - 5 SiO_2$. Există și o variantă de aliaj ceramic mai simplu, denumit mullit, $3Al_2O_3 - 2 SiO_2$. Forma de fagure este dată de un număr foarte mare de canale longitudinale, de secțiune pătrată.

Densitatea canalelor este mai mică, iar pereții canalelor sunt mai groși față de convertorul catalitic trivalent specific m.a.s.

Canalele longitudinale sunt obturate alternativ la capete cu obturatoare din ceramică, iar reținerea particulelor se realizează în momentul trecerii gazelor dintr-un canal în altul prin străbaterea pereților poroși ai monolitului – filtrare prin trecere prin perete – Wall Flow – (fig. 11.4); treptat, suprafața interioară a canalelor se acoperă cu particule, afectând eficacitatea filtrului și măbind rezistențele gazo-dinamice de pe traseul evacuării. Din acest motiv se impune regenerarea filtrului, care înseamnă arderea particulelor depuse. Matrița ceramică necesită o tehnologie de execuție specială, foarte costisitoare, în prezent existând numai două firme care o produc : NGK Insulators (Japonia) și Corning Glass (S.U.A.). Montarea matriței trebuie să se facă într-o rețea de țesături metalic izolate în lână ceramică, pentru a micșora tensiunile mecanice și pentru a asigura izolația termică.



O strategie de reducere a particulelor este oxidarea lor pe traseul evacuării; fiindcă gazele conțin oxigen, particulele pot fi oxidate dacă temperatura este suficient de înaltă și timpul de ardere suficient de lung. Regenerarea necesită o anumită temperatură și un anumit conținut de oxigen pentru a se iniția, timpul de regenerare depinde de temperatura filtrului, care la rândul ei depinde de :

- cantitatea totală de particule acumulate;
- densitatea particulelor și distribuția lor în filtru;
- reactivitatea funinginei;
- debitul de gaze evacuate;
- pierderile de căldură ale filtrului.

În general, regenerarea depinde de temperatura gazelor, mai mare de $480\text{ }^{\circ}\text{C}$, conținutul de oxigen, peste 2 %, timp suficient pentru ardere completă. Creșterea temperaturii gazelor necesită o cantitate mare de energie, energie care, dacă nu poate fi recuperată, duce la consumuri inacceptabile.

Regenerarea termică este specifică filtrului monolit și se realizează prin oxidare sau piroliză, care se amorsează la $500\text{...}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ și în condițiile unui exces de O_2 . Piroliza trebuie amorsată și controlată; în cele mai multe cazuri, temperatura gazelor arse nu atinge $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, rămânând în jurul a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (mai ales la sarcini mici și medii); la funcționarea la sarcini mari se atinge această temperatură, dar gazele arse nu mai conțin suficient O_2 pentru producerea oxidării.

Cum cele două condiții (temperatură înaltă și prezența O_2) nu sunt îndeplinite niciodată simultan, s-au folosit metode de creștere a temperaturii gazelor, cum ar fi: încălzirea lor prin intermediul unui arzător cu motorină sau a unui rezistor electric sau cu microunde, folosirea unei supape pe traseul de admisie sau de evacuare, cu rolul de a izola și de a menține temperatura înaltă a evacuării după funcționarea la sarcini mari.

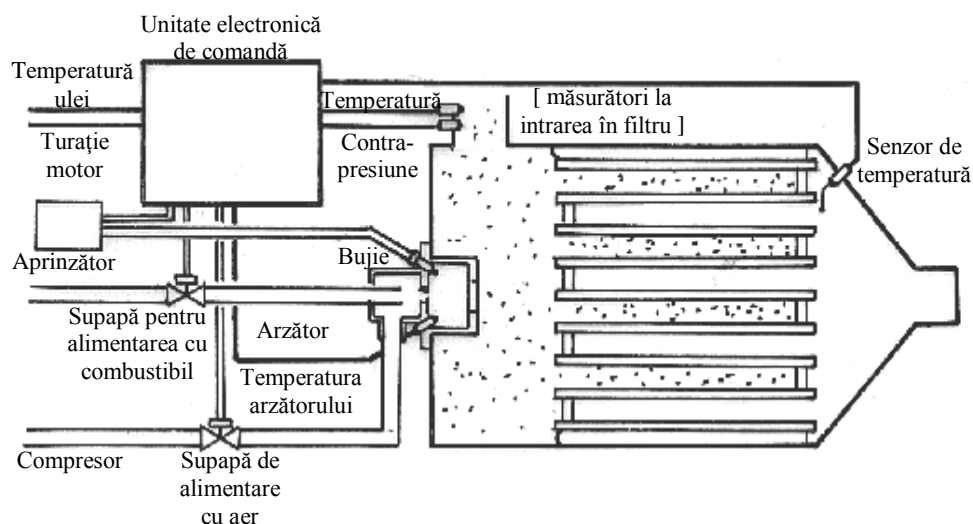
Cea mai bună soluție s-a dovedit a fi încălzitorul electric sau arzătorul cu motorină, care duce la creșterea consumului de combustibil cu 1 – 2%, regenerarea fiind comandată când colmatarea filtrului o impune, în timpul funcționării motorului.

Controlul regenerării este dat de o unitate electronică de comandă, care primește semnale electrice de la traductoarele de presiune și de temperatură montați în filtru. Schemele tipice ale regenerării cu arzător, similare principal, ale firmelor Deutz și Zeuna-Starker sunt prezentate în fig. 11.7 a și b.

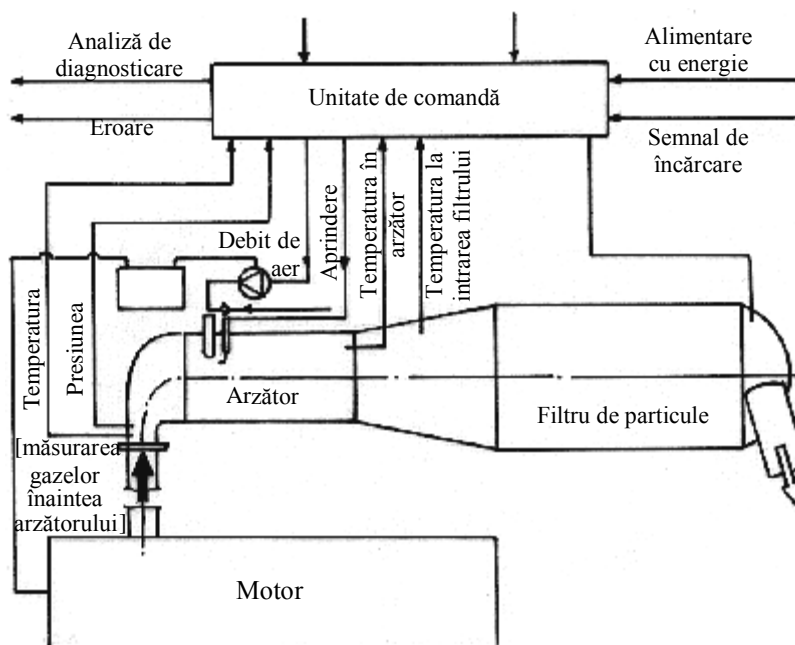
Pentru perioada de timp cât filtru se regenerează, gazele arse sunt deviate printr-un by-pass în conducta de evacuare nefiind filtrate. De aceea, pentru motoarele de autobuze s-au construit sisteme cu filtre duble, astfel încât, pe toată durata funcționării autobuzului, gazele arse să fie filtrate.

Un caz particular îl reprezintă purjarea matriței monolit cu motorul oprit; această soluție se practică , în general, la motoare de puteri mici, cu autonomie redusă, care lucrează câteva ore pe zi, de regulă în spații închise (stivuitoare, utilaje miniere etc.). Capacitatea matriței trebuie să fie suficientă, pentru a nu se colmata în timpul funcționării zilnice. La sfârșitul zilei de lucru, matrița este regenerată prin conectarea acesteia la un sistem exterior, încălzit electric și alimentat cu O_2 printr-o suflantă, care, în interval de 3 ore, realizează piroliza completă.

Pentru acest caz, durata de viață a filtrului monolit regenerat depășește 300 000 km sau 1000 de regenerări zilnice, adică 3 ani.



a



b

Fig. 11. 7. Scheme ale regenerării cu arzător:

a – filtrul de particule Deutz; b – filtrul de particule Zeuna – Starker.

Ca o alternativă la ridicarea temperaturii în filtru, pentru producerea regenerării, în ultimul timp s-a dezvoltat o nouă metodă, care urmărește începerea regenerării, prin folosirea unei reacții catalitice în filtru, care are ca efect combustia particulelor la o temperatură mai scăzută. Există două tipuri de filtre de particule, care folosesc efectul catalitic : unul folosește catalizatori care sunt depuși sau injectați în filtru, iar celălalt tip utilizează aditivi care sunt introduși în combustibil.

Regenerarea chimică cu aditivarea combustibilului permite oxidarea particulelor la o temperatură relativ scăzută a gazelor arse. Oxidarea particulelor se face continuu, o dată cu depunerea lor în filtru, prin egalizarea vitezei de ardere regenerativă cu viteza de reținere a particulelor; se obțin astfel valori constante ale presiunii în filtru.

În ultimii ani s-au studiat mulți aditivi, fiind evaluate proprietățile acestora de a reduce temperatura de aprindere a particulelor.

Principalele contribuții ale aditivilor în procesul de regenerare catalitică au fost identificate:

- aditivii reduc temperatura de aprindere a funinginei până la valori de 400° C în condiții de laborator (analiza termo - gravimetrică) și chiar mai scăzute în condiții de funcționare reale;
- aditivii nu reduc temperaturile maxime locale de regenerare în același mod;
- aditivii nu previn supraîncălzirea filtrelor când regenerarea începe la sarcini mari;
- calitatea regenerării nu este îmbunătățită după depășirea unei anumite concentrații limită;
- activitatea catalitică a aceluiași aditiv diferă substanțial cu tipul și regimul motorului;
- temperatura de evacuare, concentrația de oxigen și conținutul HC / SOF sunt parametri importanți ai procesului de regenerare .

Aditivii rămași în competiție, după mulți ani de studiu, sunt : cuprul, manganul, fierul și ceriumul.

Datele experimentale arată că un adaos de cupru în motorină, de 0,13 g/l, coboară cu aproximativ 200 °C temperatura de aprindere a particulelor, iar manganul, în aceeași proporție, coboară temperatura cu 100...150 °C față de cazul temperaturii de aprindere fără aditivi. Alte surse care au studiat aditivii pe bază de cupru au ajuns la următoarele concluzii :

- eficiența reducerii particulelor în filtrul cu aditivi pe bază de cupru a fost de aproximativ 80 %;
- temperatura de regenerare a scăzut cu 135 °C (de la 510 °C la 375 °C);
- durata regenerării s-a redus de la 90 de minute fără aditiv la 5,5 minute cu 15 ppm Cu și la 1 minut cu 30 ppm Cu;
- filtrul a reținut peste 95 % din particulele care au conținut Cu ; aceasta determinare s-a făcut datorită faptului că oxidul de cupru eliminat în atmosferă este de asemenea o substanță toxică.

Aditivul pe bază de fier cel mai cunoscut este ferrocenul – Fe + dicitlopentadienyl, $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$; el este foarte răspândit în Germania, efectele sale fiind studiate pe motoarele firmelor KHD, Mercedes, MAN, VW și Opel. În prezent cel mai promițător aditiv este ceriumul, care reduce semnificativ emisia de particule fără a crește ceilalți poluanți gazoși.

3.3 METODE ACTIVE DE REDUCERE A POLUANȚILOR

3.3.1 Metode active de reducere a poluanților mas

Condițiile de funcționare a motoarelor cu aprindere prin scânteie, determinante pentru noxele eşapate, vor fi tratate prin prisma parametrilor ce guvernează funcționarea motorului.

a) Influența turației. Dacă turația crește, lucrul mecanic de frecare crește, consumul orar se majorează, randamentul mecanic și puterea efectivă se diminuează, consistența noxelor devenind mai severă. Trebuie reținut că, la o turație mai mare, obținerea puterii se face cu un consum de combustibil mai mare decât la turație mică, consum de combustibil majorat însemnând inclusiv creșterea noxelor.

b) Influența sarcinii. Sarcina, definită prin coeficientul de sarcină $\chi = \frac{P_e}{P_{ec}}$ are următoarele efecte : dacă se

majorează temperatura fluidului din cilindru, se reduce efectul de stingere a flăcării în masa de gaze, se îmbunătățește arderea moderată, scade conținutul de hidrocarburi și monoxid de carbon, dar crește cel de oxizi de azot.

c) Influența vitezei de deplasare a vehiculului. Dacă această viteză crește, puterea efectivă crește, consumul orar de combustibil crește, ceea ce ar determina, în general, majorarea noxelor. Având însă în vedere că la creșterea vitezei automobilului crește și sarcina motorului, putem aprecia că hidrocarburi și monoxidul de carbon nu cresc cu acesta, majorându-se însă cantitatea de oxizi de azot datorită regimului termic mai sever.

d) Efectele funcționării în regim tranzitoriu a motorului. Dificultățile de dozaj în regim tranzitoriu determină majorarea noxelor. Deschiderea bruscă a obturatorului atât la carburație, cât și la injecția monopunct, facilitează separarea combustibilului din aer și cu aceasta necesitatea îmbogățirii suplimentare a amestecului, crescând consumul de combustibil și noxele. Numai injecția multipunct poate rezolva această problemă, cu atât mai mult cu cât nu mai este vorba de spații de volume mari care trebuie umplute și golite de amestec proaspăt. Cu cât tranziția este mai severă cu atât injecția multipunct este mai avantajoasă pentru consumul de combustibil și pentru noxe.

Emisiile poluante depind de excesul de aer și de avansul la scânteier. Apelându-se la măsurări de stand , aprecierile se vor face în corelație cu coeficientul excesului de aer λ , fiind necesară și luarea în considerare a avansului la producerea scântei electrice β , cei doi parametri fiind cu cea mai mare influență asupra noxelor.

Influența excesului de aer asupra emisiilor poluante este următoarea :

Emisiunile de monoxid de carbon CO:

Pentru amestecurile bogate CO depinde liniar de λ . În domeniul $\lambda < 1$, dacă λ crește, conținutul de monoxid scade deoarece combustibilul își găsește aerul necesar desăvârșirii arderii, astfel că pentru $\lambda \geq 1$ conținutul de CO este practic independent de coeficientul excesului de aer.

Dozarea stoechiometrică uniformă la toți cilindrii ($\lambda \approx 1$) este avantajoasă, ceea ce impune injecția multipunct față de carburație sau injecția monopunct (mai ales la motoarele cu mai mult de 4 cilindri).

2. Emisiunile de oxizi de azot NO_x Pentru amestecurile bogate, dacă coeficientul excesului de aer crește, consistența NO_x se majorează datorită disponibilităților mai mari de aer ce favorizează declanșarea mecanismului Zeldovici.

În cazul amestecurilor sărace, dacă λ crește, NO_x scade deoarece se diminuează temperatura în camera de ardere.

Valorile maxime pentru oxizii de azot se obțin la $\lambda = 1,05 \dots 1,1$, care este chiar domeniul în care conținutul de monoxid de carbon și hidrocarburi din gazele de fum ating nivelurile minime.

3. Emisiunile de hidrocarburi HC. În cazul amestecurilor bogate dacă λ crește, conținutul de hidrocarburi se diminuează.

Pentru $\lambda > 1$, dacă λ crește, cantitatea de hidrocarburi eşapate se majorează datorită stingerii flăcării în masa de gaze sau chiar a rateurilor de aprindere.

Motoarele cu aprindere prin scântee obișnuite necesită amestec omogen. Dacă picăturile nu sunt suficient de fine, viteza viteze de amestecare scade crescând șansa de stingere a flăcării în masa de gaze cu creșterea noxelor și a consumului de combustibil.

Influența aprinderii exprimate prin valoarea avansului la scântee asupra emisiilor poluante este următoarea :

1. *Emisiunile de monoxid de carbon.* Sunt aproape independente de avansul la producerea scânteei electrice β . De remarcat însă că cifra octanică a benzinei , dacă nu se corelează cu avansul β influențează pregnant emanațiile de CO.

2. *Emisiunile de hidrocarburi.* Dacă avansul la producerea scânteei electrice crește, cantitatea de hidrocarburi conținute în gazele evacuate se majorează, deoarece arderea moderată are loc la o temperatură mai mică. Pentru amestecurile sărace avansul β trebuie majorat, deoarece viteza de ardere se reduce foarte mult.

3. *Emisiile de oxizi de azot.* Cu creșterea avansului, conținutul de NO_x eșapat se majorează deoarece gazele arse inițial suportă o comprimare mai severă.

În ceea ce privește consumul specific efectiv de combustibil se constată că acesta se minimizează pentru $\lambda \approx 1 \dots 1,1$ și crește cu reducerea avansului β , datorită tendinței de deplasare a arderii în destindere.

3.3.2 Metode active de reducere a poluanților mac

În ultimele decenii, datorită importanței din ce în ce mai mari care s-a acordat calității mediului înconjurător, s-au derulat numeroase cercetări ce au urmărit stabilirea principalilor factori care influențează emisiile poluante produse de motoarele cu ardere internă. Desfășurate în paralel de institute de cercetare ca și de producătorii de motoare și autovehicule, aceste cercetări au relevat nu numai influențele determinante asupra emisiilor, ci au identificat și inovat o serie de măsuri (metode sau tehnici) de reducere a poluanților; corelația factori-măsuri a devenit atât de comună încât la o privire mai puțin atentă, poate genera confundarea celor doi termeni .

Problema aplicării unor măsuri de limitare a emisiilor poluante se dovedește a fi foarte delicată, datorită multitudinii factorilor ce influențează aceste mărimi. Există influențe contradictorii ale unor factori asupra celor patru tipuri de poluanți legiferati, dar și efecte contradictorii ale aceluiași factor asupra aceluiași poluant, în cazul unor motoare diferite.

În general, măsurile de reducere a celor patru poluanți limitați în legislația existentă au generat creșteri (relativ mici) ale consumului de combustibil, ceea ce implică găsirea unei căi de compromis.

Și în cadrul grupului de poluanți enumerați (HC, CO, NO_x , particule (PT)) apare necesitatea unui compromis între valorile NO_x , pe de o parte, și valorile PT, CO, HC, pe de altă parte. Dependența inversă a acestor mărimi se datorează temperaturilor dezvoltate în camera de ardere. Măsurile de scădere concomitentă a NO_x și a celorlalți poluanți sunt relativ puține și se aplică, de regulă, în afara camerei de ardere.

Factorii care afectează nivelul emisiilor poluante sunt numeroși, iar cei mai importanți sunt prezentați succint în cele ce urmează :

1. Regimul funcțional:

- turația;
- sarcina (dozajul);
- regimul termic al motorului.

2. Caracteristicile injecției:

- avansul la injecție;
- legea de injecție;
- construcția echipamentului de injecție:
 - *tipul pompei de injecție;*
 - *mărimea presiunii de injecție;*
 - *tipul injectorului și poziția sa;*
 - *construcția pulverizatorului (diametru, lungime, număr și orientare a orificiilor pulverizatorului);*
 - *volumul sacului de sub acul injectorului.*

3. Particularități constructive ale motorului:

- intensitatea curentului de aer (turbulențe din camera de ardere);
- cantitatea de gaze reziduale (funcție de căderea de presiune la evacuare);
- numărul de supape pe cilindru (tipul chiulasei: cu 2 sau 4 supape);
- arhitectura camerei de ardere:
 - *camera de ardere unitară;*
 - *camera de ardere divizată.*
- forma camerei de ardere și dimensiunile ei;
- caracteristica de transfer termic a camerei de ardere:
 - *raportul suprafață / volum al camerei de ardere;*
 - *proprietățile de conductibilitate a pereților.*
- supraalimentarea (presiunea aerului aspirat în cilindru – p_a);
- răcirea intermediară a aerului de admisie (temperatura aerului aspirat – T_a);
- caracteristicile instalației de ungere:
 - *consum de ulei;*

- *calitatea uleiului;*
- *scurgeri de ulei;*
- *concepția instalației de ungere;*
- dimensiunile principale ale cilindrului:
 - *D – diametrul cilindrului;*
 - *S – cursa;*
 - *raportul S/D;*
 - *raportul de compresie;*
- fazele de distribuție;
- dispozitivele de pornire la rece;
- gradul de recirculare a gazelor arse;
- debitul variabil de aer.

4. Caracteristicile combustibilului:

- conținutul de sulf;
- densitatea;
- volatilitatea;
- cifra cetanică;
- compoziția fracționată;
- conținutul de hidrocarburi aromatice.

5. Starea tehnică a motorului:

- mărimea jocurilor dintre piese (uzura);
- starea echipamentului de injecție:
 - *obturarea orificiilor pulverizatorului;*
 - *scăderea presiunii de injecție;*
 - *colmatarea filtrelor de combustibil.*

6. Natura aplicației și regimul de exploatare.

Metodele active de reducere rezultate vor fi prezentate pe scurt în cele ce urmează, în ordinea (și cu numerotarea) factorilor menționați anterior .

1. Regimul funcțional. Datorită caracteristicilor de funcționare a motoarelor diesel într-o gamă largă de regimuri de sarcini și turații, optimizarea regimului funcțional este dificilă; se poate recomanda evitarea funcționării îndelungate în regim de mers în gol sau cu accelerări bruște. Pentru scăderea emisiilor poluante se determină caracteristicile emisiilor funcție de sarcină și turație care, corelate cu caracteristicile de consum de combustibil trasate în aceleași coordonate, stau la baza alegerii curbelor de utilizare a puterii; caracteristicile amintite sunt utilizate la elaborarea programelor de reglare automată a regimurilor de funcționare, la alegerea treptei de viteză, pentru delimitarea zonelor în care se interzice funcționarea motorului din considerente ecologice. Pentru reducerea emisiilor trebuie folosit un echipament de injecție comandat electronic, care asigură injectarea dozei optime de combustibil, funcție de sarcină și turație, evitând funcționarea motorului pe curbele de consum și emisii cu valori foarte mari.

2. Caracteristicile injecției. Au o influență importantă în procesul de limitare a emisiilor poluante.

Avansul la injecție este o variabilă cu efecte contradictorii asupra NO_x și HC. Reducerea avansului sub valoarea optimă duce la scăderea NO_x și la creșterea HC. Această metodă este folosită în scopul reducerii NO_x , cu prețul creșterii celorlalți poluanți, asupra cărora se vor aplica metode pasive de reducere, adică pe traseul de evacuare, după ce au fost produse. Funcția de corelare a unghiului de avans la injecție se realizează tot prin sistemul de injecție cu comandă electronică.

Legea de injecție, care este determinată de cantitatea de combustibil injectată funcție de unghiul de rotație, influențează considerabil emisiile, dacă este corelată cu fazele arderii, faza inițială de ardere (în întârzierea la autoaprindere) generează o cantitate mare de HC, faza arderii rapide generează NO_x , datorită temperaturilor mari și a rezervelor de O_2 , iar faza arderii moderate generează o cantitate mare de CO.

Creșterea presiunii de injecție la valori în jur de 1500 bar, precum și folosirea unui pulverizator cu un număr mai mare de orificii, având diametrul mai mic, de o anumită lungime și orientare, au efecte considerabile de scădere a emisiilor de particule.

Micșorarea volumului sacului de sub acul injectorului reduce cantitatea de combustibil post-injectat, cu scăderea HC, a fumului și a particulelor.

3. Particularități constructive ale motorului. Organizarea mișcării aerului în camera de ardere, caracterizată prin raportul de vârtej, are o influență contradictorie asupra NO_x și a fracțiunii insolubile din compoziția particulelor de aceea trebuie făcut un compromis la alegerea valorii optime; există deja soluții de camere de ardere cu vârtej („swirl“) variabil.

Cantitatea mărită de gaze reziduale din cilindru duce la micșorarea cantității de aer proaspăt aspirat cu scăderea NO_x și creșterea fumului, gazele arse rămase în cilindru micșorează cantitatea de O_2 disponibilă, frânând reacțiile de formare a NO_x . Influența favorabilă a gazelor reziduale asupra reducerii NO_x a condus la metoda recirculării gazelor arse (EGR – Exhaust Gas Recirculation), care constă în reintroducerea unei fracțiuni din gazele arse în cilindru; creșterea gradului de recirculare este extrem de eficientă din punctul de vedere al reducerii NO_x , dar și al HC, ceea ce se explică prin faptul că o parte din HC din gazele arse nu se evacuează direct în atmosferă, ci se reintroduce în cilindru, astfel încât o parte din acestea vor arde în ciclul următor; utilizând EGR se micșorează cantitatea de aer din fluidul proaspăt din cilindru, apărând tendința de creștere a fumului și a duratei arderii, ceea ce duce la

mărirea consumului de combustibil; aceste tendințe sunt mai puternice o dată cu mărirea sarcinii, astfel că EGR se dovedește o măsură foarte bună de reducere a NO_x și a HC, dar numai în condițiile corelării corespunzătoare a EGR cu sarcina motorului și în limitele acceptabile ale creșterii consumului de combustibil .

Camerele de ardere divizate au nivelul global al emisiilor mai redus cu circa 10 % față de cel al camerelor de ardere unitare, dar consumul de combustibil este mai mare cu aproximativ 10 %.

Forma camerei de ardere influențează semnificativ nivelul emisiilor, în special al particulelor. Se urmărește introducerea camerelor de ardere de tip re-entrant sau Quadram, care asigură o bună omogenizare a amestecului și se încearcă reducerea la minimum a spațiilor moarte din camera de ardere, la care nu ajunge frontul flăcării în perioada întârzierii la autoaprindere .

Schimbul termic intens din camera de ardere și pereții acesteia duce la scăderea temperaturii procesului de ardere cu scăderea emisiilor de CO, HC, PT și creșterea corespunzătoare a NO_x ; fiindcă scăderea NO_x este mai greu de obținut, se poate apela la metoda izolării termice a camerei de ardere; prin această izolare, se reduce întârzierea la autoaprindere.

Supraalimentarea motoarelor are ca efect creșterea presiunii și temperaturii aerului la intrarea în motor, deci un regim termic mai ridicat; debitul de aer mai mare decât al motoarelor aspirate natural explică formarea amestecurilor mai sărace și, în consecință, emisiile de HC, CO și PT scad cu creșterea presiunii de supraalimentare; regimul termic ridicat duce la mărirea sau micșorarea NO_x (funcție de motor), care poate fi redus mulțumitor prin aplicarea răcirii intermediare a aerului de admisie .

Nivelul particulelor, mai precis al fracțiunii solubile organice (SOF), depinde în proporție de 70 – 90 % de consumul de ulei al motorului. Scăderea SOF se poate obține fie prin limitarea consumului de ulei la regimuri tranzitorii, fie prin îmbunătățirea arderii uleiului care pătrunde în camera de ardere.

Fazele de distribuție influențează fenomenul de emisie a poluanților prin durata deschiderii simultane a supapelor în jurul punctului mort superior.

Factorii care influențează emisiile poluante au generat metode și tehnologii de reducere a emisiilor poluante, al căror efect este prezentat în tabelul 7.1, împreună cu aprecierea efectului asupra poluanților, consumului de combustibil, zgomotului, durabilității și costului suplimentar, exprimat în procente, din costul motorului de bază, datorat aplicării metodei respective.

Tabelul 7.1. evidențiază categoria metodelor active (1–14) de reducere a emisiilor poluante, sintetizând, fără pretenția de a fi exhaustiv, eficiența tehnicilor descrise, prin aprecieri calitative [5].

Tabelul 7.1

Nr. crt.	Efect Tehnica \ asupra	NO_x	HC	CO	PT	Consum de combustibil	Zgomot	Durabilitate	Supra-cost
1	Supraalimentare	-	+	+	+	+	+	-	+ 3 %
2	Răcire intermediară	++	-	+	+	++	0	+	+ 7 %
3	Întârzierea injectiei	++	-	-	-	--	++	0	/
4	Camera de ardere tip re-entrant	0	0	0	+	0	0	-	+ 1 %
5	Raport de compresie mărit	0	+	0	-	0	0	0	/
6	Izolație termică	--	++	+	+	0	0	--	
7	Raport de vârtaj variabil	0	0	0	+	+	0	-	+ 7 %
8	Consum de ulei redus	0	0	0	+	0	0	-	/
9	Recircularea gazelor arse	++	+	0	+	+	0	-	+ 5%
10	Variator de avans mecanic	+	0	0	+	+	0	0	+ 3 %
11	Variator de avans electronic	++	+	0	+	++	0	0	+ 8 %
12	Sistem de injectie de presiune înaltă	0	0	0	++	+	-	0	+ 4 %
13	Sistem de injectie electronică	++	+	0	++	++	0	0	+15 %
14	Turbosufanta cu geometrie variabilă	0	0	+	+	+	0	-	+8%

Legendă: 0 – fără influență ; ++, foarte eficace ; +, eficace; --, foarte dăunător ; -, dăunător .

4.Starea tehnică a motorului. Acestea influențează, într-o măsură semnificativă, poluanții emiși de motoare, în general emisii mărite apar datorită dereglărilor echipamentului de injectie, colmatării filtrelor de aer, ulei și combustibil, ca și uzurilor din cupla cinematică formată din piston–segmenti–cilindru. Studiul în regim de exploatare al

emisiilor motoarelor diesel a dus la definirea unei categorii aparte de vehicule, foarte poluante (*gross polluters*) care, datorită stării tehnice defectuoase contribuie într-o măsură mult mai mare la emisia de poluanți (1% din cele mai poluante vehicule produce același nivel de poluare ca cel produs de 40 % din vehiculele cel mai puțin poluante). Măsurări ale nivelului de poluare efectuate pe vehiculele cu motorizare diesel din România au condus la constatarea că 70 % din vehiculele testate depășesc nivelurile admise (fum și CO), fapt datorat în mare măsură stării tehnice necorespunzătoare.

Material extras din lucrarea “Combaterea poluării mediului în transporturile rutiere”, autori V. Negrea, V. Sandu, Editura tehnică, 2000.

4.METODE DE MĂSURARE A POLUANȚILOR CHIMICI

Pentru măsurarea poluanților legiferați în prezent, s-au dezvoltat metode de analiză specifice, în scopul omologării motoarelor cu ardere internă în ceea ce privește emisiile de substanțe poluante.

4.1. Măsurarea monoxidului de carbon CO [1]

Măsurarea CO se face, de regulă, cu analizorul tip NDIR (analizor nedispersiv cu absorbție în infraroșu. Acest analizor folosește metoda absorbției energiei radiante nedispersive în spectrul de radiații infraroșii, care are la bază următorul principiu: gazele poliatomice absorb selectiv energia radiată în spectrul infraroșu în diferite benzi de lungimi de undă caracteristice fiecărei substanțe. Pe această cale se poate determina atât concentrația de CO cât și CO₂ și HC. CO și CO₂ absorb radiația infraroșie la lungimea de undă de 4,7 μm și 4,3 μm. Analizorul NDIR măsoară absorbția la o lungime de undă dată și compară rezultatul cu absorbția unor gaze etalon. Acest analizor face o măsurare comparativă și nu una absolută, depinzând într-o mare măsură de calitatea amestecului de gaze pure. Așa cum este arătat în diagrama simplificată din figura 13.1, o sursă de radiații de bandă largă în infraroșu produce două fascicule paralele care trec prin două tuburi cu pereți interiori reflectorizanți și care sunt apoi captate de un detector diferențial de gaz.

Detectorul este alcătuit dintr-o carcasă etanșă cu două fante de transmitere a radiației infraroșii, care este despărțită de o diafragmă flexibilă, ce reprezintă placa unui condensator. Cele două părți ale detectorului sunt umplute cu gazul de analizat și cu gazul etalon. Când cele două fascicule pătrund în detector, componentele la lungimile de undă specificate sunt absorbite de gazul detector, care se încălzește și se dilată. În cazul în care fasciculele sunt egale, nu există dezechilibru al diafragmei separatoare.

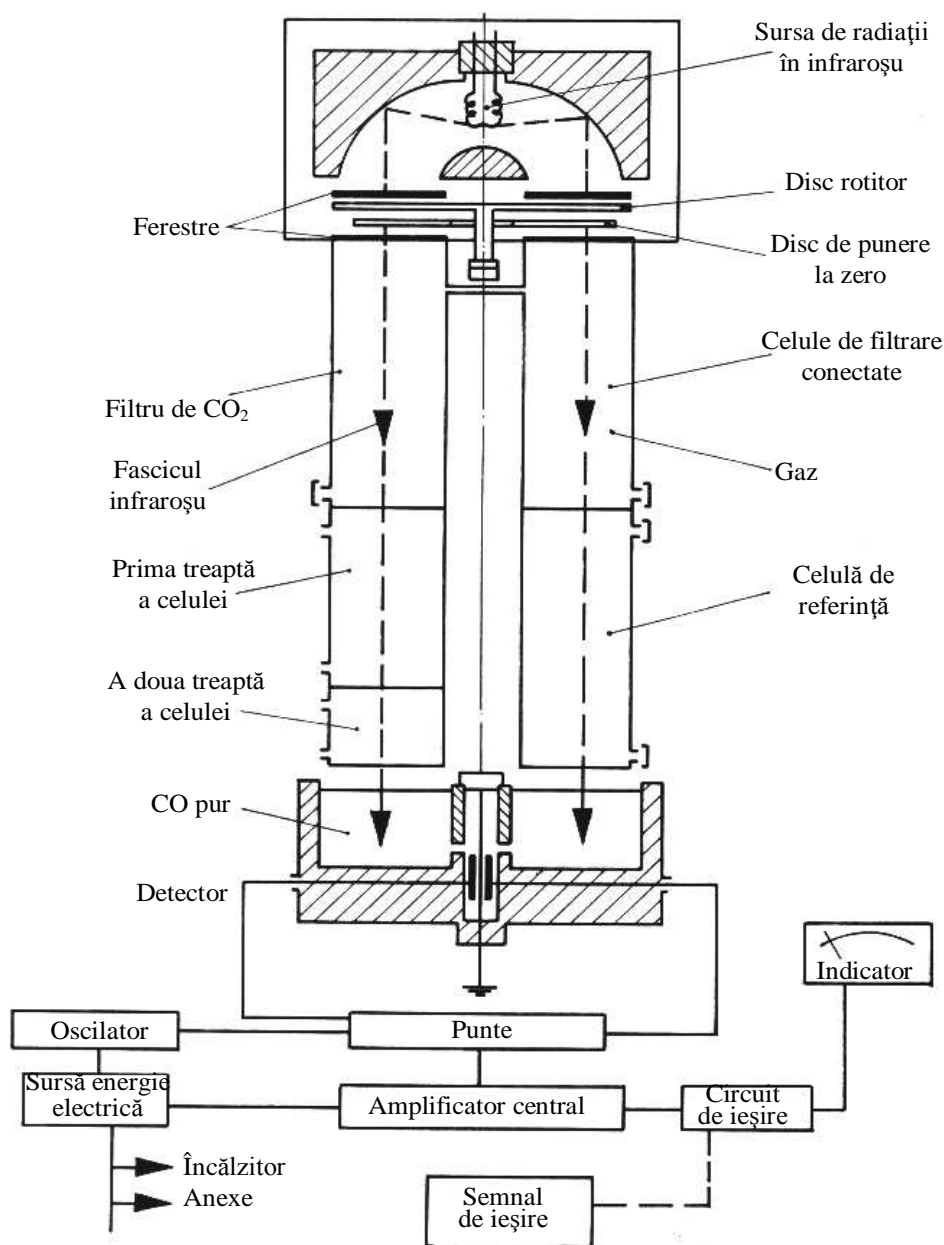
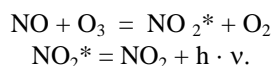


Fig.13.1. Schema unui analizor în infraroșu (NDIR).

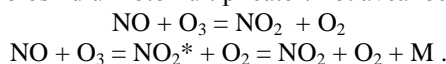
Un fascicul, cel de referință, urmează un drum fixat, celălalt trece prin tubul cu gazul de analizat. În acest tub, energia fasciculului scade datorită absorbției unui anumit component și, prin trecerea prin jumătatea corespunzătoare a detectorului dezvoltă mai puțină căldură de absorbție, ceea ce conduce la deplasarea diafragmei cu variația capacității electrice a condensatorului. Fasciculele sunt întrerupte cu o frecvență de 6–10 Hz, ceea ce determină generarea unui semnal electric alternativ.

4.2. Măsurarea oxizilor de azot NO_x

Măsurarea NO_x se face prin metoda absorbției sau prin metoda chemiluminiscenței, aceasta din urmă fiind metoda recomandată de regulamentele internaționale. Determinarea NO_x prin chemiluminiscență se bazează pe faptul că NO reacționează cu ozonul (O_3), rezultând NO_2^* încărcat electric; acesta se descarcă producând o cantă de lumină roșie :



Aceasta poate fi măsurată cu precizie, folosind un fotomultiplicator. Pot avea loc alte două reacții :



Prima reacție consumă O_2 , fără a produce molecule excitate, iar cea de a doua consumă moleculele excitate, prin acțiunea moleculelor inerte (M), fără a produce emisie de fotoni. Pentru evitarea acestor reacții parazite, se menține gazul la presiune scăzută și temperatură constantă și se elimină apa, pentru a nu crea molecule inerte. Analizorul are alcătuirea din figura 13.2.

În camera de reacție pătrunde gazul de analizat și ozonul. În această cameră, menținută la temperatură constantă, se produce reacția care generează molecule de NO_2^* excitate. Camera este vidată (3 – 12 torr) cu o pompă de vid. Fotomultiplicatorul (cu celulă fotoelectrică) transformă impulsurile luminoase în curent electric. Aparatul mai

cuprinde circuitul probei și circuitul de producere a ozonului (ozonul se obține prin trecerea O_2 printr-un reactor cu doi electrozi, alimentați la o sursă de tensiune înaltă, care produce o descărcare electrică, rezultând 2% ozon din oxigenul vehiculat). Deoarece normele solicită măsurarea concentrației totale de NO_x ($NO+NO_2$) și pornind de la constatarea că în gazele de evacuare se află, în principal, NO și NO_2 , aparatul este realizat pentru a măsura și suma acestor gaze. Pentru aceasta, proba de gaze se trece printr-un reactor încălzit electric la temperatura de $650 \dots 700^\circ C$, la care totalitatea NO_2 disociază în NO , care este apoi analizat după metoda descrisă.

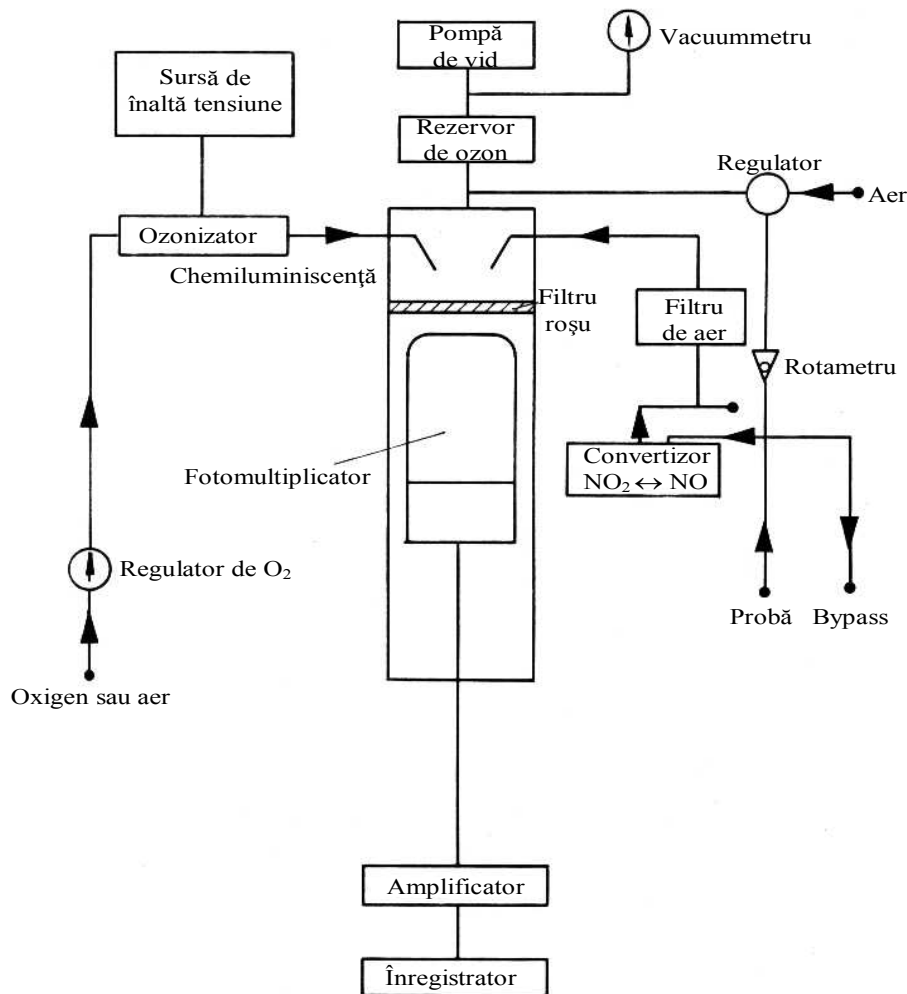


Fig.13.2. Analizorul cu chemiluminiscență (HCLA).

4.3. Măsurarea hidrocarburilor

Metoda care realizează măsurători cu o precizie bună este cea care utilizează detecția ionizării flăcării (FID - *Flame Ionization Detection*). Această metodă se bazează pe faptul că atomii de carbon pot fi separați, la temperatură ridicată, în ioni pozitivi și electroni liberi. Întrucât vaporii de apă influențează măsurarea, gazele de analizat se încălzesc până la $190^\circ C$, iar metoda devine HFID (*Heated FID*). Procedul de măsură are avantajul că indicația detectorului este proporțională cu concentrația hidrocarburilor și cu numărul de atomi de carbon din moleculă, de exemplu, indicația aparatului la 100 ppm propan - C_3H_8 - este jumătate din indicația la 100 ppm hexan (C_6H_{14}). De aceea, aparatul se mai numește și numărător de atomi de carbon (fig.13.3).

Gazul de analizat se amestecă cu aer și arde într-o flacără formată din H_2 (40 %) și He (60 %). În zona flăcării sunt amplasate două plăci electrizate pozitiv și, respectiv, negativ. Ionii pozitivi și negativi se vor separa, pe plăci, generând un curent electric proporțional cu numărul de atomi de carbon, curent care poate fi amplificat și măsurat.

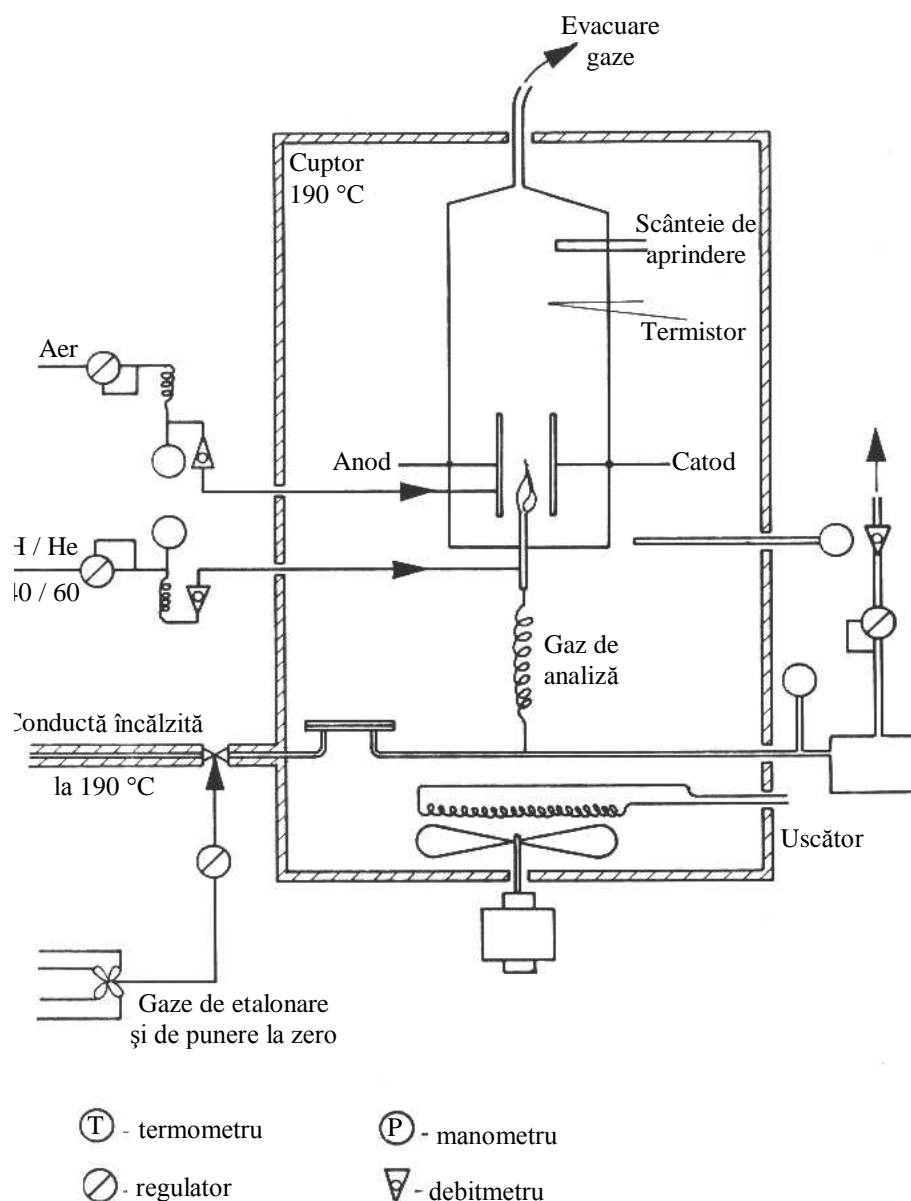


Fig.13.3. Analizorul pentru hidrocarburi cu ionizarea flăcării (HFID).

4.4. Măsurarea fumului

Metodele cele mai răspândite de măsurare a fumului sunt metoda filtrării gazelor și metoda evaluării luminii absorbite de gaze [2].

Metoda filtrării gazelor constă în colectarea particulelor de fum pe un filtru și aprecierea acestora fie prin cântărire, fie prin determinarea colorației hârtiei de filtru. După cum se observă, metoda de măsurare gravimetrică este identică cu cea prezentată la măsurarea particulelor, ceea ce înseamnă că noțiunea de particule reprezintă o noțiune mai largă: particula include produși solizi și lichizi ai arderii incomplete. Determinarea colorației hârtiei de filtru este principiul care stă la baza construcției fummetrelor Bosch. La aceste aparate, fumul trece printr-un disc din hârtie de filtru, la o depresiune constantă creată de o pompă de vacuum. După luarea probei, filtrul se compară cu unul curat, cu ajutorul unei celule fotoelectrice. Valorile obținute se încadrează în scara Bacharach, care stabilește 10 niveluri de înnegrire, zero fiind atribuit hârtiei de filtru curate.

Metoda evaluării luminii absorbite de gaze are ca principiu de măsură comparația transparenței coloanei de fum cu transparența unei coloane de aer curat. O lampă cu incandescență emite un flux luminos, ce trece prin coloanele de gaze și aer, impresionând o celulă fotoelectrică. Funcție de coeficientul de absorbție determinat se stabilesc valorile corespunzătoare ale unităților de fum. Fummetrele care lucrează după acest principiu se numesc fummetre tip Hartridge sau, mai corect, opacimetre.

Între cele două scări de măsură, Bosch și Hartridge, s-a stabilit o echivalență calitativă, iar prin medierea intervalului de variație s-au obținut valorile cele mai probabile.

În condițiile în care s-au precizat metodele de măsură a particulelor, măsurarea fumului poate fi considerată inutilă. Totuși, reglementările referitoare la măsurarea opacității gazelor de evacuare se mențin în vigoare, fumul fiind considerat neoficial o măsură vizibilă a emisiei de particule.

Definiția fumului dată de QUARG (Grupul pentru calitatea aerului din Marea Britanie) este următoarea [3]: „Fumul reprezintă materia formată din particule cu diametrul sub 15 μm, rezultată în urma arderii incomplete a combustibilului. Fumul negru reprezintă materia formată din particule negre (nereflectante) care rezultă în urma măsurării prin metoda filtrării.”

Diferența dintre fum și fum negru trebuie subliniată: termenul fum se referă la particulele primare, indiferent de culoarea acestora (grad de înnegrire). Totuși, datorită faptului că măsurările de fum din aer prin metoda filtrului depind de gradul de înnegrire al hârtiei de filtru, s-a introdus termenul de fum negru, pentru a face o distincție între capacitățile de depunere diferite ale fumului provenit din surse diferite.

4.4. METODE MODERNE DE CERCETARE A POLUANȚILOR CHIMICI

Cercetarea genezei poluanților și a eficienței mijloacelor de combatere a acestora impun identificarea naturii și a concentrației substanțelor poluante prin metode și cu echipamente cât mai performante. Acestea trebuie să satisfacă o serie de cerințe distincte cum ar fi: timpul de răspuns redus, mai ales pentru măsurările continue, costurile legate de încercare și materialele consumabile să fie cât mai mici, fiabilitatea și precizia cât mai mari.

Întrucât metodele de investigație se aplică unei probe prelevate din gazele de evacuare, aceasta nu trebuie să sufere modificări în perioada deplasării în sistemul de prelevare sau în perioada de conservare (adsorbție-desorbție la perete, condensare, reacții chimice între componenți etc.)

4.4.1 Analiza substanțelor nelimitate prin norme

Metodele de analiză aplicate pentru a determina componentele gazelor de evacuare nelimitate prin norme nu sunt, nici ele și nici metodele de prelevare a probelor, reglementate de astfel de norme. În același timp, deși pentru prelevarea probelor se pot utiliza, în parte, metodele unice aplicate componentelor limitate prin norme, la înregistrarea analitică se pot aplica metode unice pentru ambele grupe de substanțe. Aceasta se justifică, în principal, prin două cauze: pe de-o parte, sensibilitatea aparatelor de măsură aplicabile componentelor gazelor de evacuare limitate prin norme nu corespunde cerințelor efectuării cercetărilor componentelor care nu sunt limitate prin norme, componente a căror concentrație este de multe ori mai redusă iar, pe de-altă parte, selectivitatea aparatelor existente este insuficientă.

De aceea, a fost necesară elaborarea unor tehnici de înregistrare de înaltă sensibilitate, precum și a unor metodici de prelucrare prealabilă a probelor pentru separarea dorită a substanțelor necesare. Această combinație dintre prelevarea selectivă a probelor, dirijată în totalitate spre separarea și detectarea specială a substanțelor, a căpătat denumirea de microanaliză .

Metodele de microanaliză se bazează, în principal, pe principii fizice sau fizico - chimice de măsurare. Printre acestea sunt, de exemplu, metode cunoscute precum :

- spectrometria masică;
- cromatografia;
- gravimetria;
- termo-gravimetria;
- combinații ale cromatografiei cu spectrometria masică .

4.4.2. Spectrometria de masă

Aceasta metodă analizează compoziția chimică a unui amestec, funcție de comportarea particulelor sale încărcate electric într-un câmp electromagnetic. Proba de gaze analizată este bombardată cu electroni cu energii înalte, rezultând ioni de masă m și sarcină e . Aceștia sunt accelerați într-un câmp electric de tensiune U , până când ating viteza w , cu care pătrund într-un câmp magnetic H . Traectoria inițială a electronilor se curbează cu raza:

$$r = [2 U m / (e H^2)]^{0.5} .$$

Raza de curbură poate fi modificată convențional, acționându-se asupra lui U sau H , astfel că particulele cu un anumit raport caracteristic m/e să ajungă la detector. Răspunsul detectorului este proporțional cu numărul de ioni cu același m/e , adică cu concentrația inițială a substanței analizate.

Spectrometrul de masă se folosește pentru determinarea tuturor substanțelor dintr-un amestec, pe baza înregistrării continue a razei de curbură a traiectoriei particulelor. Datorită descompunerii sau a ionizării duble din faza bombardării electronice, spectrul de masă al unei substanțe are mai multe vârfuri (spectru de fragmentare). Fiecare vârf corespunde unui raport m/e caracteristic, iar înălțimea vârfului este proporțională cu concentrația sa în amestec.

4.4.3. Cromatografia

Cromatografia este o metodă de separare a amestecurilor multicomponente. Ea se bazează pe repartiția diferită a componentelor unui amestec între o fază mobilă și una staționară, având ca urmare deplasarea cu viteză diferită a componentelor purtate de faza mobilă de-a lungul fazei staționare.

Există mai multe variante ale metodei cromatografice, în funcție de tehnica, modul de lucru și proprietățile fizico-chimice ale fazelor. Practic, cea mai importantă clasificare are drept criteriu starea de agregare a fazei mobile :

- cromatografie în faza gazoasă;
- cromatografie în faza lichidă.

Tehnica de lucru diferă atât de mult în aceste două grupe, încât s-au dezvoltat aparate distincte, foarte diferite. Principalele deosebiri sunt :

- folosirea unei faze mobile gazoase atrage după sine utilizarea unor coloane de separare, în timp ce folosirea unei faze mobile lichide permite și aplicarea altor tehnici, cum ar fi cromatografia pe hârtie sau în strat subțire;
- deoarece transferul de masă este cu câteva ordine de mărime mai rapid în gaze decât în lichide, viteza de separare prin cromatografie în faza gazoasă este mult mai mare decât în faza lichidă;
- faza mobilă gazoasă se pretează mai bine la determinarea cantitativă a unor cantități extrem de mici de substanță, cromatografia în fază gazoasă fiind astfel o metodă de microanaliză calitativă și cantitativă.[14]

În cromatografia gazoasă, procesul de separare a componentelor se bazează pe legile termodinamice ale echilibrului fazelor, care se stabilește la trecerea amestecului prin coloana de separare.

O categorie de coloane de separare au pereții prevăzuți cu un material adsorbant poros, care reține prin adsorbție un component, stabilindu-se un echilibru între fracțiunea componentului rămasă în amestec și fracțiunea adsorbită. Conform legii lui Henri, cantitatea adsorbită este proporțională cu concentrația componentului în amestec .

O altă categorie de coloane, numite coloane de partiție, sunt prevăzute cu materiale poroase impregnate cu un lichid. O parte a componentului se dizolvă în acest lichid, până se atinge echilibrul cu faza rămasă în amestecul de gaze. Conform legii lui Nernst, concentrația finală a fracțiunii dizolvate în faza lichidă este proporțională cu concentrația componentului în faza gazoasă.

Analiza hidrocarburilor existente în gazele de evacuare se realizează prin cromatografie de partiție. Pentru efectuarea analizei se injectează o cantitate determinată dintr-un gaz purtător inert (hidrogen sau azot), care nu interacționează cu proba. În ordinea afinității față de materialul coloanei, componentii amestecului se separă, părăsind coloana pe rând. Gazul care iese este analizat de un detector care sesizează apariția componentelor sub forma unei succesiuni de semnale funcție de timp, obținându-se grafic o cromatogramă.

Primul vârf de pe cromatogramă corespunde momentului când ajung în detector componentii care nu sunt reținuți în collector, iar coada cromatogramei corespunde componentelor care nu sunt bine separați. Intervalul de timp dintre momentul injectării probei și momentul apariției primului vârf se numește timp de reținere și caracterizează o substanță dată; acesta poate servi la identificarea substanțelor, folosind o cromatograma de etalonare. Concentrația unui component în amestec poate fi determinată calculând aria unui vârf, care este proporțională cu cantitatea inițială a componentului în amestec. Timpul de reținere depinde de temperatura fazei lichide din coloană; astfel, prin scăderea temperaturii, se mărește timpul de reținere și se îmbunătățește rezoluția.

Construcția cromatografelor moderne cuprinde mai multe coloane de separare cu materiale și temperaturi diferite, în care separarea începe la temperaturi joase, mărindu-se timpii de reținere pentru primii compuși, ca să rezulte o bună separare. Temperatura crește apoi treptat, pentru ca să se evite timpii de reținere prea mari pentru ultimii componente separați. Detectorii folosiți sunt detectorul cu conductibilitate termică, detectorul cu ionizare a flăcării sau spectrometrul de masă.

Cromatografia are dezavantajele de a nu permite analiza continuă a gazelor arse și de a avea o durată de analiză destul de mare. Printre avantajele se numără :

- posibilitatea de a analiza toate gazele și toate substanțele lichide sau solide care pot fi evaporate fără descompuneri;
- cantitatea de probă este redusă fiind de ordinul 10^{-6} - 10^{-3} grame;
- pot fi analizate și substanțe solide prin descompunerea lor termică controlată (piroliză).

Sensibilitatea analizelor depinde de detectorul utilizat. Concentrația măsurată cu detectorul de conductibilitate este de 0,1%, iar cu detectorul cu ionizare a flăcării, de 1 ppm.

4.4.4 Gravimetria și termogravimetria

Metoda gravimetrică urmărește determinarea masei probei de analizat prin cântărire; este folosită în special la determinarea mase totale de particule (vezi paragraful 13.1.5.), dar și la analiza compoziției acestora. Ustensilele cele mai folosite sunt microbalanțele analitice (încărcare maximă 20 g și sensibilitate 10^{-3} mg), ultra-microbalanțele (încărcare maximă de zeci de miligrame și sensibilitate de 10^{-4} mg) și nanogram-balanțele (încărcare maximă de 20mg și sensibilitate de 10^{-6} mg).

Termogravimetria urmărește variația greutății substanțelor la diferite temperaturi și intervale de timp, prin cântărirea lor după fiecare etapă. În tehnica instrumentală folosită în prezent, proba este cântărită continuu în timp ce este încălzită într-un cuptor, în care ridicarea temperaturii se realizează cu viteză constantă. Este folosită cu precădere în analiza compoziției particulelor, mai ales a fracțiunii organice .

5. ISTORICUL ȘI EVOLUȚIA LEGISLAȚIEI

Omenirea s-a preocupat de mult timp de calitatea aerului pe care îl respiră. Prima lege împotriva poluării a fost promulgată în anul 1273 de către regele Edward I al Angliei și era îndreptată împotriva fumului și oxizilor de sulf care rezultau în urma arderii cărbunelui.

Între legislațiile moderne are prioritate tot o lege britanică, adoptată în 1956, care limita emisiile surselor industriale și casnice.

Primele măsuri împotriva emisiilor poluante ale automobilelor au fost adoptate în S.U.A, în statul California, începând cu 1959. Statul California, datorită condițiilor geografice neprielnice, o depresiune puțin aerată și temperaturi relativ înalte, precum și datorită numărului mare de autovehicule care ducea la producerea smogului, mai ales pe străzile orașului Los Angeles, a fost inițiatorul unor legislații foarte aspre care, în decursul timpului, au prescris valori ale emisiilor sub cele conținute în legislația federală a S.U.A. Apoi, din 1960, s-au întocmit legislații la nivel federal, cuprinzând, în principal, limitarea emisiilor evaporative din carburator și rezervor. În 1963 s-au limitat gazele de carter,

în 1965 NO_x , iar în 1968 toate autoturismele au devenit obiectul legislației pentru controlul emisiilor poluante, limitându-se CO și HC [1].

Efectul global al măsurilor adoptate în S.U.A. a fost evaluat în 1970 ca fiind remarcabil, totuși insuficient, de aceea s-a adoptat o altă orientare a evaluării emisiilor, pornind de la observația că poluarea aerului depinde de masa absolută de noxe deversate în atmosferă. Se renunța astfel la criteriul conținutului relativ de substanțe poluante din gazele arse (exprimat în procente sau ppm) și se adoptă criteriul absolut: exprimarea în grame / milă (care dezavantajează autovehiculele cu cilindree mare).

În 1975 (California) și 1976 (celelalte state federale din S.U.A.) limitele emisiilor au atins nivelul care, de regulă, necesita folosirea unui convertor catalitic (m.a.s.). Următoarele reduceri din 1977 – 1982 în California, urmate, în 1983, de restul S.U.A., au condus la introducerea obligatorie a catalizatorilor trivalenți, cu control electronic. Din 1987 s-a introdus controlul asupra emisiilor de particule la motoarele diesel. În perioada 1986–1988, legislația a impus respectarea nivelului emisiilor și după 80 000 km parcurși de vehicul, ceea ce necesita realizarea unor încercări suplimentare care verificau gradul de siguranță al dispozitivelor de control a emisiilor.

Europa a reacționat cu mare întârziere față de S.U.A., înaintea ei luând măsuri antipoluante Japonia și Canada. Cronologic, controlul emisiilor poluante a început în Europa în 1970 prin limitarea CO și HC la m.a.s., continuând cu limitarea fumului în 1972 la m.a.c.. A urmat reducerea emisiei de CO la mersul în gol și scăderea pragului CO și HC în 1974, iar în 1977 s-a introdus limitarea NO_x .

În anii '80 regulamentele au modificat numai valorile limită admise pentru m.a.s., iar la m.a.c. s-a prevăzut controlul particulelor începând cu anii '90.

După un decalaj important de circa un deceniu, Europa înăsprește legislația, astfel că la nivelul anului 1992 aceasta ajunge comparabilă cu cea americană din 1983 –1987, urmând ca, până la sfârșitul mileniului, cele două niveluri de emisii admisibile să se egalizeze.

În concluzie, se poate aprecia că prima perioadă în care s-a declanșat lupta împotriva emisiilor a fost caracterizată de creșterea consumului de combustibil, dovedindu-se că politica legislativă a emisiilor a fost foarte costisitoare. În 1975, o dată cu declanșarea crizei petroliere, s-au dezvoltat mijloacele de control a emisiilor fără creșterea consumului de combustibil.

În perioada 1975 –1990 eforturile scăderii consumului de combustibil s-au corelat cu cele făcute pentru scăderea emisiilor. Problema scăderii consumului de combustibil a devenit acută, nu numai din punct de vedere economic cât mai ales datorită emisiei de CO_2 .

Politica antipoluare a generat planuri, prognoze și strategii de reducere a emisiilor autovehiculelor, care sunt în plină desfășurare. Țările puternic industrializate au luat o serie de măsuri stimulative pentru constructorii de vehicule nepoluante (sau mai puțin poluante), cum ar fi reducerea impozitelor și aplicarea de sancțiuni (taxe suplimentare ecologice sau chiar interzicerea circulației) pentru vehiculele cu emisii poluante mari, peste norme. S-au definit o serie de categorii de vehicule, din punct de vedere al nivelului de poluare, planificându-se ca producția de autovehicule a anilor 2000 să respecte anumite procente din aceste categorii :

- TLEV – (*Transitional Low Emission Vehicle*) – vehicul cu emisii relativ scăzute;
- LEV – (*Low Emission Vehicle*) – vehicul cu emisii scăzute;
- ULEV – (*Ultra Low Emission Vehicle*) – vehicul cu emisii foarte scăzute;
- ZEV – (*Zero Emission Vehicle*) – vehicul cu emisii (practic) nule.

S.U.A. (mai ales statul California) au cuprins în planificările referitoare la producția de autovehicule noi procente mari de ZEV, obținute fie prin îmbunătățirea motoarelor clasice cunoscute, fie prin folosirea unor motoare cu combustibili mai puțin poluanți (gaze naturale, alcool, energie electrică) sau total nepoluanți (hidrogenul).

În prezent se observă tendința de apropiere a valorilor limită impuse poluanților din gazele arse cuprinse în normele specifice internaționale; deși regulamentele diferă substanțial, ele au totuși un punct comun, prin folosirea acelorași metode de măsură a poluanților legiferați.

Altă trăsătură a acestor documente este repetata lor actualizare, prin care sunt micșorate drastic limitele admise, sunt făcute modificări ale ciclurilor de încercare și completări permise ale procedurilor de măsură. De exemplu, normele referitoare la emisiile motoarelor pentru autovehicule grele corespunzătoare anilor 1998–2000 cuprind valori foarte mici comparativ cu valorile inițiale din 1982 (referința de 100%) și care indică scăderi de 85% pentru CO, de 83% pentru HC, de 72% pentru NO_x și de 72 – 83% pentru particule.

La ora actuală există în lume trei mari centre de dezvoltare economică, producătoare de autovehicule, care și-au impus proceduri, legislații, strategii proprii în ceea ce privește emisiile poluante ale autovehiculelor : Europa, S.U.A. și Japonia.

Astfel, nu se poate vorbi de un singur regulament internațional de măsurare și limitare a emisiilor. În prezent coexistă cele trei seturi de legislații, la care au subscris multe alte țări. Există și țări cu legislații antipoluare proprii.

Strategiile față de limitarea emisiilor poluante s-au dovedit divergente: S.U.A. pun accent pe reducerea nivelului de particule, acceptând valori mari ale CO, Japonia impune scăderea NO_x , fără a limita (până în 1993 – 1994) particulele, iar Europa se situează undeva la mijloc, căutând calea compromisului.

Procedurile de testare sunt diferite, bazate pe o serie de regimuri de funcționare cu ponderi diferite. De exemplu, pentru a se compara testele executate în regimuri stabilizate pentru autovehicule grele (testul european și cel japonez) cu cel american, executat în regim tranzitoriu, acesta din urmă a fost echivalat cu un test cu 8 trepte staționare sau cu testul european existent, variindu-se ponderile acordate fiecărei trepte de încercare.

Încercările comparative ale aceluiași motor după cele 3 proceduri au demonstrat că se obțin rezultate diferite ale poluanților, ceea ce poate duce la concluzii contradictorii asupra caracteristicilor aceluiași motor [2]. Comparația este și mai greu de făcut dacă se ține seamă că se folosesc unități de măsură diferite: g / kWh, g / km, g / test, ppm.

Legislațiile își largesc treptat cadrul, tinzând să limiteze toate formele de poluare, pornind de la poluanții din gazele de evacuare, continuând cu gazele carter și vaporii de combustibil scăpați din instalațiile motorului sau la stațiile de alimentare.

Legislațiile cuprind prescripții referitoare la încercările de tip și de serie, precum și la verificarea respectării valorilor impuse în timpul funcționării. În acest sens, funcție de durata de viață utilă a vehiculului, se fac măsurări ale emisiilor după un anumit număr de ore de funcționare, acceptându-se coeficienți de corecție și se verifică durabilitatea dispozitivelor antipoluante (convertor catalitic, filtru de particule etc.)

Regulamentele referitoare la emisiile poluante ale autovehiculelor diferă și în ceea ce privește condițiile de încadrare a vehiculelor funcție de masa totală și de utilizare.

5.1. REGULAMENTE EUROPENE

Documente cu putere de lege emit două organisme europene: Comunitatea Economică Europeană și Comisia Economică Europeană (organism al Organizației Națiunilor Unite). Directivele primului organism sunt similare regulamentelor celui de-al doilea și tind în timp să devină identice.

Întrucât România s-a aliniat documentelor emise de CEE-ONU, acestea vor fi descrise în cele ce urmează.

5.1.1. Regulamentul nr. 83 CEE - ONU [3]

Prevederile acestui regulament se aplică :

- emisiilor din gazele de eșapament și emisiilor de gaze carter ale tuturor vehiculelor din categoria M1 și N1, cu motoare cu aprindere prin scânteie, funcționând cu benzină cu plumb (categoriile de vehicule sunt conform standardului STAS 11960);

- emisiilor din gazele de eșapament, din gazele de carter și emisiilor evaporative; durabilității dispozitivelor antipoluante ale vehiculelor din categoria M1, N1 cu motoare cu aprindere prin scânteie, funcționând cu benzină fără plumb;

- emisiilor din gazele de eșapament și durabilității dispozitivelor antipoluante ale tuturor vehiculelor din categoria M1, N1, cu motoare cu aprindere prin comprimare, având cel puțin 4 roți.

Categoriile M1 și N1 cuprind vehicule pentru transportul de marfă și de persoane, cu masa totală sub 3,5 t (în principal autoturisme și autoutilitare).

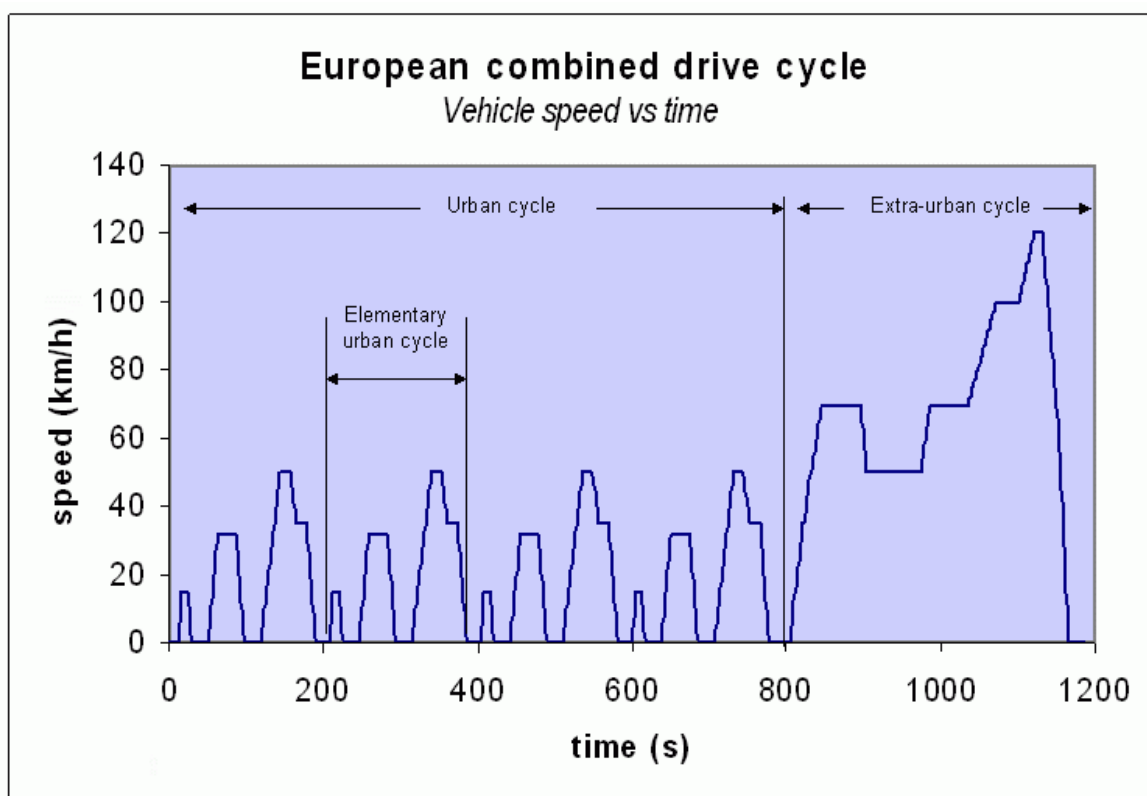
Există 5 tipuri de încercări de omologare care se aplică diferențiat fiecărei categorii de vehicul, conform tabelului 14.1.

Încercarea de tip I urmărește controlul emisiilor din gazele de eșapament cu vehiculul montat pe un banc cu rulouri, care simulează rezistența la înaintare și inerția. Se efectuează un ciclu format dintr-un ciclu urban, ce se repetă de 4 ori și dintr-un ciclu care simulează funcționarea în afara orașului (extraurban) (fig.14.1). Inițial, această încercare cuprindea numai ciclul urban. Acest ciclu solicita puțin motorul (viteză maximă 50km / h) și de aceea nu este reprezentativ pentru toate regimurile de funcționare, în special emisiile de NO_x fiind foarte mici, fără relevanță. După multe discuții s-a adăugat și ciclul extraurban, în care viteza maximă este de 120 km / h.

Tabelul 14.1

Tipul încercării	Vehicule cu benzină cu plumb	Vehicule cu benzină fără plumb Masa < 2,5t	Vehicule cu benzină fără plumb Masa > 2,5t	Vehicule cu motorină Masa < 2,5t	Vehicule cu motorină Masa > 2,5t
I	DA	DA	DA	DA	DA
II	DA	–	DA	–	–
III	DA	DA	DA	–	–
IV	–	DA	–	–	–
V	–	DA	–	DA	–

În timpul încercării gazele de evacuare sunt diluate și colectate în saci. Pentru vehiculele cu m.a.s. se măsoară CO, HC, NO_x, iar pentru m.a.c. se măsoară în plus particulele. Metodele de măsurare folosite sunt cele descrise în capitolul 13, iar valorile limită sunt date funcție de tipul vehiculului (tabelul 14.2).



Drive cycle contained in UNECE Regulation 101

Fig.14.1. Ciclul de conducere corespunzător testului de măsurare nr.83.01.

În timpul încercării gazele de evacuare sunt diluate și colectate în saci. Pentru vehiculele cu m.a.s. se măsoară CO, HC, NO_x, iar pentru m.a.c. se măsoară în plus particulele. Metodele de măsurare folosite sunt cele descrise în capitolul 13, iar valorile limită sunt date funcție de tipul vehiculului (tabelul 14.2).

Valori pentru autoturisme M_1^*), g/km

Tier	Date	<u>CO</u>	<u>HC</u>	HC+NO _x	<u>NO_x</u>	<u>PM</u>
Diesel (mac)						
Euro I†	July 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro II, <u>IDI</u>	Jan. 1996	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro II, <u>DI</u>	Jan. 1996 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro III	Jan. 2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro IV	Jan. 2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro V (proposed)	Sept. 2009	0.50	-	0.23	0.18	0.005
Euro VI (proposed)	Sept. 2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005
Benzina (mas)						
Euro I†	July 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro II	Jan. 1996	2.2	-	0.5	-	-
Euro III	Jan. 2000	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro IV	Jan. 2005	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro V (proposed)	Sept. 2009	1.0	0.10	-	0.06	0.005 ^b
Euro VI (proposed)	Sept. 2014	1.0	0.10	-	0.06	0.005

* Before Euro V passenger vehicles > 2500 kg were type approved as Light commercial vehicle N1 - I

Valori pentru vehicule comerciale usoare cu masa ≤1305 kg (Category N1 - I), [g/km](#)

Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel (mac)						
Euro I	Oct. 1994	2.72	-	0.97	-	0.14
Euro II, IDI	Jan. 1998	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro II, DI	Jan. 1998	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro III	Jan. 2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro IV	Jan. 2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro V (proposed)	Sept. 2010	0.50	-	0.23	0.18	0.005
Euro VI	Sep. 2015	0.50	-	0.17	0.08	0.05
Benzina (mas)						
Euro I	Oct 1994	2.72	-	0.97	-	-
Euro II	Jan. 1998	2.2	-	0.5	-	-
Euro III	Jan. 2000	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro IV	Jan. 2005	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro V	Sept. 2010	1.0	0.075	-	0.06	0.005
Euro VI						

Valori pentru vehicule comerciale usoare cu masa 1305 kg-1760 kg (Category N1 - II), [g/km](#)

Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel (mac)						
Euro I	Oct. 1994	5.17	-	1.4	-	0.19
Euro II, IDI	Jan. 1998	1.25	-	1.0	-	0.12
Euro II, DI	Jan. 1998	1.25	-	1.0	-	0.12
Euro III	Jan. 2001	0.80	-	0.72	0.65	0.07
Euro IV	Jan. 2006	0.63	-	0.39	0.33	0.04
Euro V	Sept. 2010	0.63	-	0.295	0.235	0.005
Euro VI	Sep. 2015	0.63	-	0.195	0.105	0.005
Benzina (mas)						
Euro I	Oct 1994	5.17	-	1.4	-	-
Euro II	Jan. 1998	4.0	-	0.65	-	-
Euro III	Jan. 2001	4.17	0.25	-	0.18	-
Euro IV	Jan. 2006	1.81	0.13	-	0.10	-
Euro V	Sept. 2010	1.81	0.13	-	0.075	0.005
Euro VI						

Valori pentru vehicule comerciale usoare cu masa >1760 kg [max 3500 kg](#). (Category N1 - III), [g/km](#)

Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel (mac)						
Euro I	Oct. 1994	6.9	-	1.7	-	0.25
Euro II, IDI	Jan. 1998	1.5	-	1.2	-	0.17
Euro II, DI	Jan. 1998	1.5	-	1.6	-	0.20
Euro III	Jan. 2001	0.95	-	0.86	0.78	0.10
Euro IV	Jan. 2006	0.95	-	0.46	0.39	0.06
Euro V	Sept. 2010	0.74	-	0.3505	0.280	0.005
Euro VI	Sep. 2015	0.74	-	0.350	0.280	0.005

Benzina (mas)

Euro I	Oct 1994	6.9	-	1.7	-	-
Euro II	Jan. 1998	5.0	-	0.8	-	-
Euro III	Jan. 2001	5.22	0.29	-	0.21	-
Euro IV	Jan. 2006	2.27	0.16	-	0.11	-
Euro V	Sept. 2010	2.27	0.16	-	0.082	0.005
Euro VI						

Încercarea tip II se referă la controlul CO la mersul în gol, imediat după al patrulea ciclu din încercarea I. Valorile CO nu trebuie să depășească 3,5%, pentru reglajul specific încercării de tip I sau nu trebuie să depășească 4,5 % CO, pentru plaja de reglaje specificate în acest regulament.

Încercarea tip III verifică emisiile din gazele carter la mers în gol și la 50 km / h, folosind standul cu role. Presiunea măsurată în carter nu trebuie să depășească valoarea presiunii atmosferice din momentul măsurării. Dacă această lucră nu se respectă, se impune o încercare complementară prin care se colectează gazele carter într-un sac fixat la orificiul jojei de ulei. Vehiculul este considerat satisfăcător dacă nu se produce o umflare vizibilă a sacului.

Încercarea tip IV determină emisiile de hidrocarburi evaporate prin metoda SHED (*Sealed Housing for Evaporative Determinations*). Aceasta metodă constă în captarea emisiilor într-o incintă închisă care conține vehiculul. Cunoscându-se volumul incintei și concentrația substanțelor poluante, se determină emisiile totale.

Emisiile evaporabile se împart în :

- pierderi diurne – apar când vehiculul este staționat, cu motorul oprit, datorită evaporării combustibilului din rezervor, provocată de variația temperaturii care apare în 24 de ore;
- pierderi datorită încălzirii – apar când vehiculul încălzit este lăsat să staționeze și căldura motorului este transferată rezervorului și / sau carburantului;
- pierderi în funcționare – apar când vehiculul este condus în condiții normale de funcționare.

Metoda SHED are măsurători similare și în S.U.A., determinându-se cele 3 tipuri de emisii amintite. Suma acestora nu trebuie să depășească 2g / test.

Încercarea tip V urmărește verificarea durabilității dispozitivelor antipoluante care echipează m.a.s. sau m.a.c. în cursul încercării de duranță de 80 000km. Este definit un program de funcționare, alcătuit din 11 cicluri de 6 km lungime, care se repetă până la 80 000 km. Se măsoară emisiile din 10 000 km în 10 000 km și, pe baza lor, se calculează factorul de deteriorare al emisiilor din gazele de eșapament, ca raport al emisiei de poluanți, în g / km la 6 400 km și la 80 000 km.

5.1.2. Regulamentul CEE - ONU nr. 49 [4]

Acest regulament se aplică emisiilor gazoase și de particule ale motoarelor cu aprindere prin comprimare, care antrenează autovehicule având viteza nominală superioară valorii de 25km / h și aparținând categoriilor M1 de masa totală peste 3,5 t , M2, M3, N1, N2, N3. Mai scurt spus, se aplică autovehiculelor grele (autocamioane și autobuze) cu m.a.c. Pentru încercare, motorul (și nu vehiculul) este montat pe un banc de încercare, este cuplat la un dinamometru și este supus unui ciclu de încercări alcătuit din 13 trepte de funcționare staționară, definite de sarcină și turație (tabelul 14.6).

După prima treaptă de mers în gol, motorul este încărcat treptat în sarcini crescătoare, la 10, 25, 50, 75 și 100% din sarcina maximă, la turație intermediară. Turația intermediară este definită ca turația de cuplu maxim, dacă aceasta se încadrează între 60 și 75% din turația nominală, iar dacă această condiție nu este îndeplinită, se consideră egală cu 60% din turația nominală. În treapta a șaptea a ciclului, motorul funcționează în gol, după care urmează treptele de funcționare la turație nominală, în sarcină descrescătoare: 100, 75, 50, 25 și 10% din sarcina maximă. Ultima treaptă cuprinde din nou mersul în gol.

Tabelul 14.6

Modul	Turația	Sarcina (%)	Coefficient de ponderare
1	Turația de mers în gol	-	0,25 / 3
2	Turația intermediară	10	0,08
3	Turația intermediară	25	0,08
4	Turația intermediară	50	0,08
5	Turația intermediară	75	0,08
6	Turația intermediară	100	0,25
7	Turația de mers în gol	-	0,25 / 3
8	Turația nominală	100	0,10
9	Turația nominală	75	0,02
10	Turația nominală	50	0,02
11	Turația nominală	25	0,02
12	Turația nominală	10	0,02
13	Turația de mers în gol	-	0,25 / 3

În fiecare treaptă se măsoară, prin înregistrări grafice, emisiile gazoase care se mediază pe întreg intervalul de măsurare; apoi media fiecărei trepte intră în calculul mediei ponderate finale cu un anumit coeficient (tabelul 14.6). Măsurările de debit de gaze arse, cuplu și turație duc la stabilirea puterii specifice fiecărei trepte necesare la

determinarea puterii echivalente a întregului ciclu. Emisiile gazoase măsurate de analizoare se raportează masic la puterea echivalentă a ciclului și se exprimă în g / kWh.

Pentru determinarea particulelor se folosește metoda gravimetrică: gazele arse, diluate cu aer curat, trec printr-o pereche de filtre din teflon de o anumită porozitate, colectând depunerile solide și lichide existente în gazele arse. Filtrele sunt cântărite înainte și după același ciclu, iar debitul masic de particule este raportat la puterea motorului.

Valorile admise ale celor patru poluanți considerați sunt date în tabelul 14.7.

Tabelul 14.7

Data intrării în vigoare	Poluantul (g / kWh)			
	CO	HC	NO _x	PT
1.07.1992 (EURO 1)	4,5	1,1	8	0,36 *
1.10.1995 (EURO 2)	4,0	1,1	7	0,15
1999 (EURO 3)	2,5	0,7	5	0,10
2004 (EURO 4)	1,0	0,5	<3	< 0,10

*Valoarea limită pentru emisiile de particule se înmulțește cu 1,7 în cazul motoarelor cu putere nominală mai mică sau egală cu 85kW.

5.2.3. Regulamentul CEE - ONU nr. 24 [5]

Acest regulament cuprinde prescripții referitoare la omologarea motoarelor cu aprindere prin comprimare, în ceea ce privește emisiile poluante vizibile (fumul). Emisiile poluante se măsoară în cursul a două încercări : în regim stabilizat de funcționare în sarcină totală (a) și în regim de accelerare liberă (b).

a - Încercarea se execută fie pe motor, fie pe autovehicul, măsurându-se opacitatea gazului de eșapament. Se execută un număr suficient de măsurări, repartizate între turația nominală maximă și cea minimă. Pentru fiecare din turațiile la care s-au făcut măsurări ale coeficientului de absorbție se calculează debitul nominal de gaz :

$$G = V n / 120 \quad ,$$

în care : G este debitul nominal de gaz (l / s) ;

V – cilindrul motorului (l) ;

n – turația motorului (rot / min) .

Coeficientul de absorbție a luminii, măsurat cu opacimetrul, trebuie să fie mai mic decât valorile limită impuse acestui coeficient în regulament, funcție de debitul de gaz.

b - Încercarea se execută asupra motorului instalat pe bancul de încercare sau pe vehicul. Emisiile poluante vizibile în accelerație liberă trebuie măsurate când motorul funcționează la regim nominal și la puterea sa maximă. Motorul, funcționând la regimul de mers în gol, este accelerat rapid, dar fără brutalitate, pentru a se obține debitul maxim al pompei de injecție. Această poziție se menține până se atinge regimul maxim al motorului, apoi se decelerează până când motorul ajunge din nou la regimul de mers în gol, la turație minimă și opacimetrul revine la condițiile inițiale. Se repetă operația de cel puțin 6 ori, notându-se valorile maxime ale opacității, obținute în încercări succesive, până când se obțin valori stabilizate într-o plajă de 0,25 m⁻¹ Valoarea coeficientului de absorbție este media aritmetică a 4 valori consecutive ale opacității, care respectă condiția anterioară.

Așa cum s-a putut consta în subcapitolul anterior, există tendința ca prevederile acestui regulament să fie cuprinse unitar în regulamentul dedicat emisiilor poluante ale m.a.c..

În afara acestor regulamente specifice autovehiculelor rutiere, există o serie de norme ale emisiilor produse de aplicații nerutiere din domeniul, feroviar, naval, agricol, al construcțiilor sau a generatoarelor electrice. În Europa, documentul cel mai des menționat este ISO 8178, care indică procedura de încercare specifică și valorile admisibile fiecărei utilizări în parte.

6. FACTORI DE IMPACT

Ce înseamnă cuvântul impact? De multe ori el este confundat cu cuvântul efect. Efect este rezultatul unei acțiuni . Impactul este rezultatul unei acțiuni transpus pe o scară de valori, de obicei starea inițială, de referință și cea finală, de după producerea acțiunii. Impactul înseamnă de obicei schimbarea pe care activitate umană o produce asupra unei părți a ecosistemului. Analiza de impact urmărește stabilirea consecințelor fiecărei poluări sau distrugerii a mediului față de situația anterioară. Analiza folosește niște mărimi denumite factori de impact. Principalii factori de impact asociați cu poluarea mediului produsă de transporturi sunt :

1.Epuizarea resurselor naturale se exprimă prin perioada de abundență adică perioada de timp cât se estimează că mai "ajung" resursele pentru a fi consumate .Această perioadă se calculează împărțind resursele pentru un material la consumul anual estimat . De exemplu aceste perioade sunt de 40 de ani pentru petrol, 220 de ani pentru cărbune, 60 de ani pentru gaze naturale,110ani pentru minereu de fier.

2.Efectul de seră e produs în principal de dioxidul de carbon, gazul metan, protoxidul de azot (N₂O), vapori de apă, derivații clorofluorurați ai hidrocarburilor saturate CFC, ozonul, monoxidul de carbon și compușii organici volatili COV.

Indicele ce permite o comparare a potențialelor de încălzire și de producere a efectului de seră este potențialul de încălzire globală GWP (Global Warming Potential). GWP arată de câte ori un gaz oarecare produce un efect de seră

mai mare decât cel produs de dioxidul de carbon. Cu alte cuvinte GWP pentru dioxidul de carbon este egal cu 1. GWP pentru metan este 35, iar cel pentru protoxidul de azot 260.

Determinarea GWP pentru o sursă de poluanți înseamnă însumarea maselor de poluanți ponderate fiecare cu propriul său potențial GWP.

3. Degradarea stratului de ozon se estimează prin indicele denumit potențialul de degradare a stratului de ozon ODP (Ozone Depletion Potential). ODP arată de câte ori un poluant distruge stratul de ozon mai intens decât freonul CFC11. Cu alte cuvinte ODP pentru CFC 11 este egal cu 1.

Determinarea ODP pentru o sursă de poluanți înseamnă însumarea maselor de poluanți ponderate fiecare cu propriul său potențial ODP.

3. Toxicitatea emisiilor este apreciată prin efectele toxice produse asupra oamenilor și ființelor vii în general. Evaluarea toxicității globale a gazelor de evacuare se face de obicei prin coeficienți care iau în considerație efectele compușilor toxici și caracterul nociv al acestor componenți raportat la toxicitatea monoxidului de carbon (CO). Astfel, toxicitatea globală poate fi evaluată luând în considerare componenți cum ar fi benzo(a)pirena, formaldehidele, plumbul, care nu sunt cuprinse în legislațiile privitoare la emisiile poluante ale mijloacelor de transport. Coeficientul global definit are o semnificație mai puțin tehnică și mai mult legată de protecția mediului înconjurător. Forma generală a acestui coeficient ponderat de toxicitate denumit WTI (de la inițialele cuvintelor Weighted Toxicity Index) este următoarea:

$$WTI = \frac{\sum_j K_j \cdot m_j}{\sum_j m_j}, \quad j - \text{poluanții considerați}$$

Lista poluanților selectați conține în prezent CO, HC, NO_x (pentru m.a.s.) și în plus particule pentru m.a.c. se poate completa cu componenți foarte toxici care deși se găsesc în cantități mici în gazele arse au efecte nocive importante. Indicele de toxicitate WTI (Weighted Toxicity Index) consideră care referință toxicitatea monoxidului de carbon WTI=1.

În cazul m.a.c., considerând legislațiile antipoluare cele mai răspândite care conțin limitări clare ale mărimilor menționate, acest coeficient evaluează efectele asupra mediului produse de poluanții legați într-o manieră tehnică, având formula:

$$WTI = \frac{K_{CO} \cdot m_{CO} + K_{NOx} \cdot m_{NOx} + K_{HC} \cdot m_{HC} + K_{PT} \cdot m_{PT}}{m_{CO} + m_{NOx} + m_{HC} + m_{PT}}$$

în care :

K_{CO}, K_{NOx}, K_{HC}, K_{PT} – coeficienți specifici de toxicitate ai fiecărui poluant considerat, definiți într-o scară de toxicitate funcție de efectele produse de poluantul respectiv asupra sănătății și asupra mediului înconjurător;

m_{CO}, m_{NOx}, m_{HC}, m_{PT} - masele poluanților respectivi.

De obicei se consideră toxicitatea poluanților raportată la toxicitatea monoxidului de carbon CO, deci K_{CO} = 1 și K'_{NOx} = K_{NOx} / K_{CO} etc.

$$WTI = \frac{m_{CO} + K'_{NOx} m_{NOx} + K'_{HC} m_{HC} + K'_{PT} m_{PT}}{m_{CO} + m_{HC} + m_{NOx} + m_{PT}}$$

K'_{NOx}, K'_{HC}, K'_{PT} reprezintă coeficienții specifici de toxicitate raportați la efectele nocive ale CO.

Determinarea coeficienților K' reprezintă o sarcină dificilă cauzată de faptul că evaluarea nocivității poluanților este în mare măsură subiectivă. Literatura de specialitate referitoare la acești coeficienți indică opinii adeseori divergente. Totuși se remarcă inegalitatea:

$$1 \leq K'_{HC} \leq K'_{NOx} \leq K'_{PT}$$

Pentru calcule curente se poate considera K_{CO} = 1, K_{HC} = 2, K_{NOx} = 20, K_{PT} = 40.

Aplicație

Să se calculeze cantitatea de aer necesar și produșii reacție de oxidare care apar la ardere unui kilogram de combustibil (solid sau lichid) sau a unui metru cub normal de combustibil gazos. Rezolvarea acestei probleme implică parcurgerea materialului teoretic următor.

Arderea combustibililor

Arderea este o reacție chimică exotermă de oxidare a substanțelor combustibile. Combustibilii sunt substanțe care prin ardere dezvoltă o cantitate importantă de căldură care este folosită în procese industriale. În compoziția combustibililor intră masa organică (carbon, hidrogen, azot, oxigen, sulf), masa minerală (substanțe necombustibile care dau cenușa) și umiditatea.

Clasificarea combustibililor

Starea fizică	Combustibili naturali	Combustibili artificiali
Combustibili solizi	Lemn, paie Cărbune brun, huilă, antracit, turbă Șisturi bituminoase	Rumeguș Mangal Cocs Brichete de cărbune
Combustibili lichizi	Țiței (petrol)	Benzină Petrol lampant Motorină Păcură Metanol, etanol Uleiuri Gaze petroliere lichefiate
Combustibili gazoși	Gaze naturale Gaze de sondă	Gaze de cocserie, Gaze de rafinărie Hidrogen

Procesul de ardere poate fi descris prin ecuațiile chimice ale arderii în care se consideră elementele combustibile din combustibil. Arderea poate fi completă în situația în care oxidarea este totală, iar produsele arderii nu mai conțin energie chimică. Arderea este incompletă când oxidarea nu este totală adică apar produse de reacție care se mai pot oxida, iar produșii de reacție mai au energie chimică.

Compoziția combustibilului se stabilește prin analiză chimică elementară.

Compoziția chimică elementară a combustibililor solizi și lichizi se exprimă sub forma participațiilor masice a elementelor componente carbon, hidrogen, sulf, azot, oxigen, umiditate (u), cenușă (a).

$$1kg_{comb} = c + h + s + n + o + u + a$$

Compoziția chimică a combustibililor gazoși se exprimă sub forma participațiilor volumice a gazelor componente care formează amestecul combustibil, adică monoxid de carbon, hidrogen, hidrocarburi, hidrogen sulfurat, oxigen, dioxid de carbon, azot și umiditate.

$$1m_N^3 comb = co + h + \sum c_m h_n + h_2 s + o + co_2 + n + u$$

Elementele chimice care degajează căldură sunt c, h, s .

Arderea se produce dacă combustibilul plus O_2 (aer) se aduce la temperatura de aprindere prin încălzire (cu gaze arse), prin comprimare sau prin aprindere de la o sursă exterioară.

Se notează m_{aermin} - cantitatea minimă de aer (care cuprinde oxigenul minim necesar) pentru arderea completă a combustibilului, iar m_{aer} - cantitatea de aer utilizată pentru ardere.

Raportul celor două cantități de aer : cantitatea reală de aer care participă la ardere și cantitatea minimă de aer se numește coeficient de exces de aer.

$$\lambda = \frac{m_{aer}}{m_{aermin}} = \frac{V_{aer}}{V_{aermin}} \quad - \text{coeficientul de exces de aer}$$

Atunci când pentru realizarea arderii complete se utilizează cantitatea minimă de oxigen, arderea se numește completă, teoretică sau stoechiometrică. De obicei arderea se produce cu un aport de oxigen mai mare decât oxigenul minim necesar realizării arderii complete, iar arderea se zice a fi cu exces de oxigen.

.Arderea completă a combustibililor solizi și lichizi

Dacă se consideră un kilogram de combustibil solid sau lichid cu compoziția elementară cunoscută:

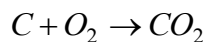
$$1 \text{ kg comb} = c + h + s + n + o + u + a ,$$

$$cu \ c = \frac{kgC}{kg \ comb}, h = \frac{kgH_2}{kgcomb}, s = \frac{kgS}{kgcomb}, \dots$$

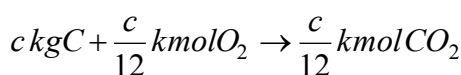
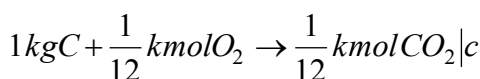
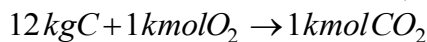
(exemplu: păcura $c = 0,85$ $h = 0,12$ $s = 0,02$ $o = 0,01$)

prin arderea completă a carbonului, hidrogenului și sulfului se pot scrie ecuațiile chimice ale acestor oxidări pentru carbon, hidrogen și sulf.

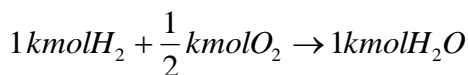
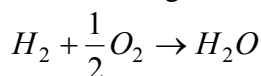
Pentru carbon



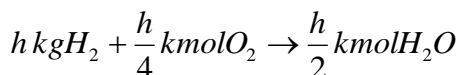
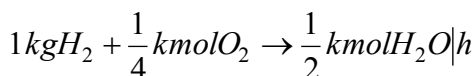
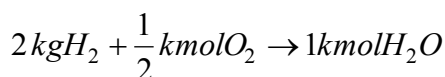
Carbonul are masa atomică 12, iar masa molară este $M = 12 \text{ kg/kmol}$



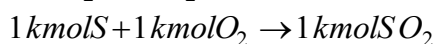
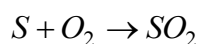
Pentru hidrogen



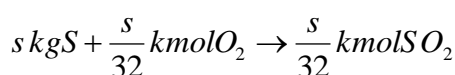
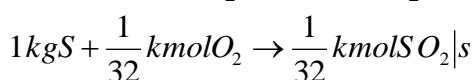
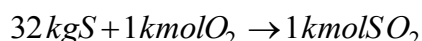
Hidrogenul are masa atomică 1, iar masa molară este $M = 2 \text{ kg/kmol}$



Pentru sulf



Sulful are masa atomică 32, iar masa molară este $M = 32 \text{ kg/kmol}$



Pentru arderea 1 kg de combustibil vom putea calcula care este cantitatea de O_2 necesară (deci

minimă) pentru arderea completă: $O_{2 \min} = \left(\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg comb}}$

$$m_{O_{2 \min}} = \left(\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \cdot 32 \frac{\text{kg} O_2}{\text{kg comb}}$$

$$V_{O_{2 \min}} = \left(\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \cdot 22,414 \frac{m_N^3 O_2}{\text{kg comb}}$$

$$V_{aer \min} = \frac{V_{O_{2 \min}}}{0,21} \left[\frac{m_N^3}{\text{kg comb}} \right]$$

$$r_{N_2} = 79\%$$

$$r_{O_2} = 21\%$$

$$V_{aer} = \lambda V_{aermin} \left[\frac{m_{Naer}^3}{kgcomb} \right]$$

Valoarea coeficientului de exces de aer depinde de natura combustibilului și de tipul instalației de ardere. De exemplu pentru combustibili solizi $\lambda = 1,1 \dots 2$, ($\lambda_{lemn} = 1,2 \dots 1,4$; $\lambda_{c\bar{a}rbune} = 1,5 \dots 2$), iar pentru combustibili lichizi $\lambda = 1,15 \dots 1,4$.

Produsele arderii sunt gazele arse care au volumul egal cu suma gazelor rezultate din oxidările precedente, V_g

$$V_g = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{N_2min} + V_{aerex} \left[\frac{m_N^3 gaz}{kgcomb} \right]$$

$$V_{CO_2} = \frac{c}{12} 22,4 \left[\frac{m_N^3 CO_2}{kgcomb} \right]$$

$$V_{H_2O} = \left(\frac{h}{2} + \frac{u}{18} \right) 22,4 \left[\frac{m_N^3 H_2O}{kgcomb} \right]$$

$$V_{SO_2} = \frac{s}{32} 22,4 \left[\frac{m_N^3 SO_2}{kgcomb} \right]$$

$$V_{N_2min} = 0,79 V_{aermin} + \frac{n}{28} 22,4 \left[\frac{m_N^3 N_2}{kgcomb} \right]$$

$$V_{exaer} = V_{aer} - V_{aermin} = \lambda V_{aermin} - V_{aer} = (\lambda - 1) V_{aermin}$$

Masa produselor de ardere este

$$mg = m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{SO_2} + m_{N_2min} + m_{aerex}$$

$$m_{CO_2} = \rho_{NCO_2} V_{CO_2}$$

$$m_{H_2O} = \rho_{NH_2O} V_{H_2O}$$

$$m_{SO_2} = \rho_{NSO_2} V_{SO_2}$$

$$m_{N_2min} = \rho_{NN_2} V_{N_2min}$$

$$m_{aerex} = \rho_{Naer} V_{aerex}$$

$$\rho_N = \frac{M}{V_{MN}} = \frac{M}{22,414} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

5.2. Arderea completă a combustibililor gazoși

Dacă se consideră un metru cub normal de combustibil gazos cu compoziția elementară cunoscută:

$$1m_N^3 = co + h + \sum c_m h_n + h_2s + o + n + u + co_2$$

$$cu\ co = \frac{m_N^3 CO}{m_{Ncomb}^3}, h = \frac{m_N^3 H_2}{m_{Ncomb}^3}, \dots \quad \text{în care principalii componenți sunt monoxidul de carbon CO,}$$

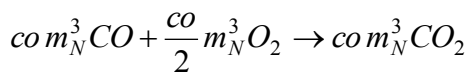
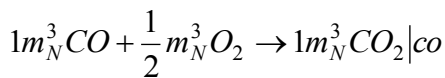
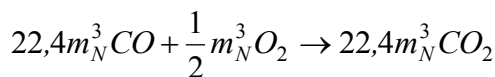
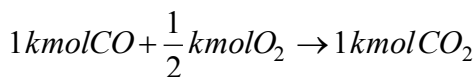
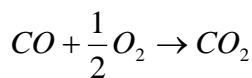
hidrogenul, hidrocarburile, hidrogenul sulfurat, oxigenul, azotul, umiditatea și dioxidul de carbon, atunci prin arderea completă a monoxidului de carbon, a hidrogenului, a hidrocarburilor și a hidrogenului sulfurat se pot scrie ecuațiile chimice ale acestor oxidări.

(exemplu de compoziție a unui gaz de cracare :

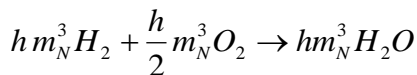
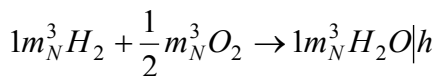
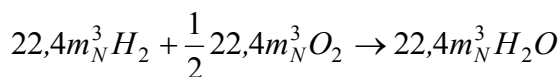
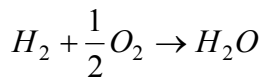
$$co = 0 \quad h = 0,03 \quad ch_4 = 0,38 \quad c_2h_4 = 0,1 \quad c_2h_6 = 0,14 \quad c_2h_8 = 0,18 \quad c_4h_8 = 0,02 \quad c_4h_{10} = 0,1$$

$$n = 0,05$$

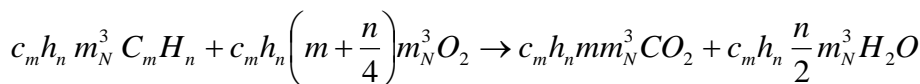
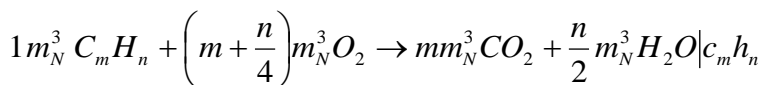
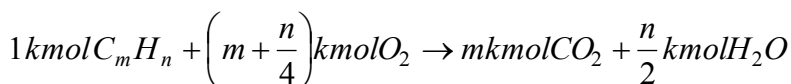
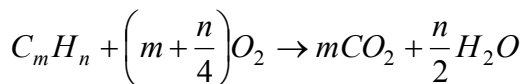
Pentru monoxidul de carbon CO



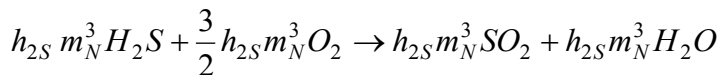
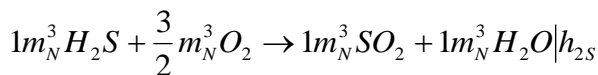
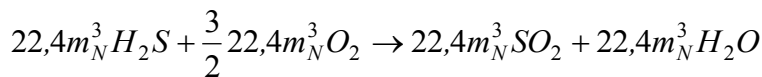
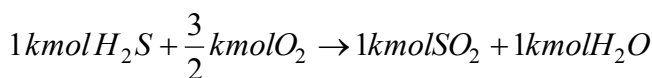
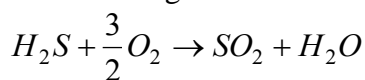
Pentru hidrogen H_2



Pentru hidrocarbura $C_m H_n$



Pentru hidrogen sulfurat



Volumul de oxigen minim necesar oxidării

$$V_{O_2 \min} = \left(\frac{co}{2} + \frac{h}{2} + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) c_m h_n + \frac{3}{2} h_{2S} - o \right) \frac{m_N^3 O_2}{m_N^3 comb}$$

$$\text{Volumul de aer minim necesar este } V_{aer \min} = \frac{V_{O_2 \min}}{0,21} \frac{m_N^3 aer}{m_N^3 comb}$$

$$\text{Volumul real de aer } V_{aer \min} = \lambda V_{aer \min}$$

Produsele arderii sunt gazele arse care au volumul egal cu suma gazelor rezultate din oxidările precedente, V_g

$$V_g = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{aerex} + V_{N_2 \min}$$

$$V_{CO_2} = CO + m \sum c_m h_n + CO_2 \left[\frac{m_N^3 CO_2}{m_N^3 comb} \right]$$

$$V_{H_2O} = h + h_{2S} + u + \frac{n}{2} \sum c_m h_n \left[\frac{m_N^3 H_2O}{m_N^3 comb} \right]$$

$$V_{SO_2} = h_{2S} \left[\frac{m_N^3 SO_2}{m_N^3 comb} \right]$$

$$V_{N_2 \min} = 0,79 V_{aer \min} + n \left[\frac{m_N^3 N_2}{m_N^3 comb} \right]$$

$$V_{aerex} = (\lambda - 1) V_{aer \min} \left[\frac{m_N^3 aer}{m_N^3 comb} \right]$$

Masa produselor de ardere este

$$mg = m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{SO_2} + m_{N_2 \min} + m_{aerex}$$

$$m_{CO_2} = \rho_{N_{CO_2}} V_{CO_2}$$

$$m_{H_2O} = \rho_{N_{H_2O}} V_{H_2O}$$

$$m_{SO_2} = \rho_{N_{SO_2}} V_{SO_2}$$

$$m_{N_2 \min} = \rho_{N_{N_2}} V_{N_2 \min}$$

$$m_{aerex} = \rho_{N_{aer}} V_{aerex}$$

$$\rho_N = \frac{M}{V_{MN}} = \frac{M}{22,414} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

Temă

Să se calculeze masa și volumul produșilor de reacție care apar în urma oxidării 1 kg de motorină care are compoziția elementară $c=0,845$, $h=0,15$, $o=0,005$.

Să se calculeze masa și volumul produșilor de reacție care apar în urma oxidării 1 m³N de metan (CH₄) care arde cu exces de aer ($\lambda=1,2$).

Aceeași problemă pentru arderea 1m³N de etan (C₂H₆) , 1m³N de butan (C₄H₁₀).

Material extras din lucrările

“Combaterea poluării mediului în transporturile rutiere”, autori V. Negrea, V. Sandu, Editura tehnică, 2000.

“Termotehnica și mașini termice” V.Sandu , 2007,Editura Universității Transilvania

„Evaluarea impactului asupra mediului utilizând analiza ciclului de viață”, autori A. Badea, T. Apostol, C.Dincă,2004, Editura Politehnica Press