**Universitatea „Politehnica” Timişoara**

**Facultatea de Mecanică**

**Departamentul de Maşini Mecanice, Utilaje şi Transporturi**

**STUDII ŞI CERCETĂRI PRIVIND EFECTELE REGLAJELOR UNUI MOTOR CU INJECŢIE DE BENZINĂ ASUPRA PERFORMANŢELOR MOTORULUI ŞI A POLUĂRII MEDIULUI**

**Ing. Ioan Dumitru HITICAŞ**

**Conducător ştiinţific: prof.univ.dr.ing. Dănilă IORGA**

**Referenţi ştiinţifici: prof. univ. dr. Ing. Constantin PANĂ**

**prof. assoc. dr.ing. Daniel MARIN**

**conf. univ. dr.ing. Liviu MIHON**

**CUPRINS**

1. Regimurile motorului, dinamica schimbării acestora şi influenţa asupra

consumului de combustibil şi a emisiilor poluante

* 1. Motoarele în patru timpi şi senzorii acestora
  2. Unităţile electronice de comanda şi control programabile
  3. Unităţi de sine stătătoare (*stand* alone)
  4. Sonda lambda bandă largă (*wide* band)
  5. Consumul de combustibil şi gazele de evacuare
  6. Concluzii

1. Stadiul actual al cercetărilor privind reglajele motoarelor actuale, regimurile de funcţionare şi creşterea performanţelor acestora
   1. Scurt istoric
   2. Controlul şi reglajele efectuate asupra motoarelor cu aprindere prin scânteie
      1. Reglajele clasice
      2. Reglajele efectuate în buclă închisă
      3. Reglaje avansate de control al m.a.s.
   3. Aprinderea şi controlul electronic aprinderii
      1. Metoda clasică de declanşare a aprinderii
      2. Generarea impulsurilor cu senzor inductiv montat pe arborele cotit
      3. Senzorul Hall. Principiul de funcţionare
      4. Controlul avansului la aprindere
   4. Stadiul actual al sistemelor electrice de reglare şi control
      1. Soluţia dSpace
      2. Soluţia AVL
      3. Soluţia National Intruments
      4. Soluţia Mega Squirt
   5. Soluţii privind creşterea performanţelor unui motor cu ardere internă
      1. Tuningul
      2. Unităţi electronice de control programabile
   6. Natura gazelor evacuate de motoarele cu ardere internă modificate prin tuning şi consecinţele asupra omului şi mediului ambiant
   7. Concluzii
2. Studii teoretice şi experimentale privind reglajele motoarelor prin modificarea parametrilor din unitatea electronică de control
   1. Lucrul mecanic indicat şi randamentul termodinamic indicat
   2. Tensiunea pe injector, amestecul carburant aer/combustibil şi sondele de oxigen lambda
      1. Tensiunea pe injector
      2. Amestecul carburant aer/combustibil şi sondele de oxigen Lambda Amestecul carburat şi întârzierea la aprindere după legea lui Arrhenius
   3. Concluzii
3. Cercetări experimentale privind influenţa reglajelor asupra performanţelor motoarelor
   1. Măsurători experimentale realizate în laboratorul de Dinamica Autovehiculul
      1. Aparatură şi echipamente utilizate în cadrul cercetărilor experimentale
      2. Cercetări experimentale realizate asupra motorului testa K7J 1.4 MPI
   2. Reglaje privind evoluţia performanţelor pentru autovehiculul testat
      1. Pregătirea datelor privind cercetările experimentale
   3. Rezultate experimentale
      1. Modelarea şi simularea pulsului injectorului
      2. Tehnologia PWM
      3. Rezultate experimentale privind variaţia timpilor de injecţie şi curentul de la bujie
      4. Reglaje la nivelul ECU asupra motorului testat K7J 1.4 MPI
      5. Optimizarea curbelor de putere şi de moment motor pentru motorul testat
      6. Variaţia timpilor de injecţie utilizând Logica Fuzzy
   4. Concluzii
4. Cercetări experimentale asupra reglajelor motoarelor cu ajutorul calculatoarelor de bord programabile, şi implicaţii asupra performanţelor energetice şi emisiilor poluante
   1. Date preliminare
   2. Controlul lambda la m.a.s.
      1. Clasificare sonde lambda
      2. Defectare sondă lambda
   3. Reglaje privind variaţia performanţelor şi natura gazelor evacuate pentru autovehiculul testat Volvo 440 1.7 Turbo
      1. Obiective
      2. Puncte de plecare
      3. Variaţiile concentraţiilor gazelor evacuate pe durata încercărilor experimentale după reglajele realizate cu ajutorul ECU programabil
      4. Variaţiile speciilor poluante emise de către motorul testat, Volvo 440 1.7 Turbo
   4. Studiu comparativ asupra speciilor gazelor poluante evacuate de către autovehiculul echipat cu ECU programabil
      1. Variaţia monoxidului de carbon
      2. Variaţia dioxidului de carbon
      3. Variaţia oxigenului
      4. Variaţia hidrocarburilor nearse
      5. Variaţia oxizilor de azot
   5. Studii şi cercetări experimentale realizate asupra motorului VW Golf II
      1. Rezultate experimentale
   6. Concluzii
5. Concluzii finale şi contribuţii personale
   1. Concluzii finale
   2. Contribuţii personale

Bibliografie

Anex

*This work was partially supported by the strategic grant POSDRU/88/1.5/S/50783, Project ID 50783 (2009) co-financed by the European Social Fund – Investing in People, within the sectarial Operational Programme Human Resources Development 2007-2013.*

# **1. REGIMURILE MOTORULUI, DINAMICA SCHIMBĂRII ACESTORA ŞI INFLUENŢA ASUPRA CONSUMULUI DE COMBUSTIBIL ŞI A EMISIILOR POLUANTE**

Funcţionarea motorului cu ardere internă urmează principii bine definite încă de la apariţia acestora [1], [2]. Odată cu evoluţia tehnologiei însă, procesele care au loc în interiorul camerei de ardere, şi nu doar acestea, au putut şi pot fi monitorizate.

Motoarele termice în 4 timpi de astăzi sunt echipate cu echipamente menite să ajute la gestiunea parametrilor funcţionali ai motorului şi/sau a întregului autovehicul, a consumului de combustibil, a naturii gazelor evacuate. Cele mai bine dezvoltate echipamente, şi care în ultima perioadă au fost foarte bine dezvoltate, sunt senzorii [85]. Printre senzorii amplasaţi pe şi în autovehicul / motor, amintim:

* Senzorul de pe volant – detectează ciclurile motorului pe durata funcţionării. Cu ajutorul unui magnet, amplasat pe volanta, senzorul detectează fiecare rotaţie completă a volantului, implicit a unui ciclu motor complet.
* Senzorul poziţiei clapetei de acceleraţie – detectează poziţia clapetei de pe traseul de admisie, poziţie strâns legată cu poziţia pedalei de acceleraţie, care de asemenea posedă un senzor de poziţie, pentru determinarea unghiului pedalei.
* Senzorul lambda – autovehiculele posedă două astfel de sonde lambda, sonde care detectează cantitatea de oxigen din gazele evacuate de către motor. Prima sonda este amplasată imediat după galeria de evacuare, iar cea de-a doua sonda este amplasată după catalizator.
* Senzorul de temperatură/presiune apă – monitorizează evoluţia temperaturii / presiunii lichidului de răcire al motorului pe durata funcţionării acestuia.
* Senzorul de temperatură/presiune ulei – monitorizează evoluţia temperaturii / presiunii uleiului motorului pe durata funcţionării acestuia.

Pe lângă aceşti senzori mai amintim: senzorul de temperatură pentru gazele evacuate (EGT – Exhaust Gas Temperature), senzorul de presiune a aerului de admisie, senzorul de presiune din carter, senzorul vitezei la roată, senzor unghi de direcţie, etc.

Monitorizarea acestor senzori se realizează cu ajutorul unităţilor electronice din dotarea autovehiculelor. Funcţionarea la parametrii optimi de asemenea este posibilă cu ajutorul ECU, însă şi conducătorul auto poate influenţa regimurile de funcţionare ale motorului.

Funcţionarea motoarelor de astăzi implică o serie de elemente, printre care cel mai importat este Unitatea Electronică de Control (*în limba engleză Engine Control Unit – ECU*) [126]. Calculatorul de bord al autovehiculelor a fost dezvoltat cu scopul de a facilita funcţionarea şi utilizarea autovehiculelor de către conducătorii auto. Primele calculatoare de bord utilizau machete sau tabele, în care erau notate valori de referinţă pentru buna funcţionare a motorului, la parametri normali. Însa regimurile la care este supus un motor în timpul funcţionării variază foarte mult, implicând o serie de factori variabili. Temperatura şi presiunea aerului admis în camera de ardere sunt doar două exemple de parametrii care oscilează într-un timp între diferite valori.

Preocuparea inginerilor şi proiectanţilor de autovehicule a fost dintotdeauna, obţinerea unui randament ridicat al motoarelor, cu costuri cât mai reduse. Randamentul motoarelor termice este strict legat de procesele care au loc în interiorul camerei de ardere, împreună cu toate elementele conexe, iar costurile sunt în principal cele legate de preţul de achiziţie al autovehiculul precum şi de combustibilul utilizat şi cel al consumabilelor. ECU al autovehiculelor, în urma dezvoltărilor recente, trebuie, şi poate, să satisfacă atât cerinţele conducătorilor auto, cât şi normele impuse de legislaţiile in vigoare, în special cele cu privire la natura gazelor evacuate. De asemenea trebuie să ţină cont şi de stilul de condus al conducătorului auto care va produce efecte asupra consumului de combustibil implicit asupra naturii gazelor [67], [73].

Recentele studii prezintă dovezi clare cum că motoarele care utilizează combustibili fosili ca sursă de energie, prezintă pericole majore privind sănătatea publică şi a mediului, motive pentru care constrângerile de natura legislativă, privind reducerea elementelor componente din gazele de evacuare cu efecte cancerigene, au sporit în ultimii ani [107], [108]. Dovadă stau normele Euro, de la Euro I la Euro VI (tabel 1.1) pentru vehiculele comerciale.

De asemenea emisiile de gaze cu efect de seră sunt în continuare o provocare pentru lumea autoturismelor [3], [23], acest domeniu fiind încă ţinta grupărilor ecologiste, fiind privit ca inamic, cu toate că domeniu transporturilor reprezintă doar 23 % din totalul emisiilor ce CO2, [99] care este principalul element al gazelor cu efect de seră.

Istoria a demonstrat faptul că emisiile de gaze cu efect de seră sunt şi o consecinţă a industrializării, ţările puternic dezvoltate fiind printre primele în topul ţărilor cu emisiile cele mai mari de gaze cu efect de seră [92].

# **2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND REGLAJELE MOTOARELOR ACTUALE, REGIMURILE DE FUNCŢIONARE ŞI CREŞTEREA PERFORMANŢELOR ACESTORA**

În paragraful anterior s-a prezentat modalitatea prin care se pot creşte performanţele unui motor cu ardere internă, care presupune înlocuirea fizică a elementelor mecanice direct implicate în creşterea performanţelor unui autovehicul, iar în cele ce urmează vom prezenta modalitatea prin care se poate obţine un plus de putere şi fără a face modificări atât de multe la un autovehicul, putând obţine o creştere a performanţelor concentrându-ne doar asupra părţii electronice a autovehiculului, şi anume asupra calculatorului de bord [50].

Chip tuningul este procesul prin care se pot optimiza datele înmagazinate în eprom, date care gestionează combustibilul, injecţia, aprinderea, presiunea şi cantitatea aerului, un chip (circuit integrat) instalat în ECU. Această optimizare se poate face în două moduri, şi anume, se poate înlătura fizic unitatea Eprom, noua unitate eprom instalată conţinând deja noile informaţiile necesare în vederea creşterii performanţelor motorului, sau modalitatea a doua, prin “flesh” şi anume, datele înregistrate în eprom sunt şterse iar noile date care vor fi scrise în unitatea eprom vor asigura o creştere a performanţelor motorului funcţie de cerinţele proprietarului. Scrierea noilor date se bazează măsurători realizate pe standul dyno, sau pe măsurători în timp real, pe circuite de încercări.

În cele ce urmează vom prezenta ce sunt ECU-urile programabile. Acestea sunt o alta categorie de calculatoare de bord care pot fi programate, iar acest avantaj pe care îl oferă, îl putem folosi atunci când au fost aduse modificări semnificative unui motor standard, modificări de genul instalare/schimbare turbină, instalare/modificare inter cooler (este un instrument de schimb de căldură aer-aer sau aer-lichid folosit la motoarele turbo sau supraalimentate, pentru a le îmbunătăţii performanţele), modificare evacuare, etc. Datorită acestor modificări, ECU original poate să nu ofere controlul optim pentru acestea [29], iar aici intervine ECU programabil. Acesta poate fi programat/mapat (map (în limba engleză) = hartă (în limba română)) cu un laptop şi un cablu OBD/USB. Alţi parametri care pot fi mapaţi sunt: aprinderea – definirea momentului când o bujie să producă scânteie în cilindru; turaţia maximă – defineşte turaţia maximă pe care o poate atinge motorul, moment după care carburantul şi/sau aprinderea este întreruptă; corecţia răcirii motorului – permite alimentarea cu combustibil suplimentar atunci când motorul este rece; alimentarea rapidă – cu ajutorul senzorului de la pedala de acceleraţie, i se transmite ECU-lui să adauge o anumită cantitate de carburant; modificarea presiunii scăzute a carburantului – senzorul pompei de alimentare îi transmite ECU-lui să mărească timpul de injectare a carburantului pentru a compensa pierderea presiunii carburantului; bucla închisă a sondei lambda – ECU monitorizează sonda lambda şi pentru a obţine o combustie ideală, va modifica amestecul aer/combustibil [30].

# **3. Studii teoretice şi experimentale privind reglajele motoarelor prin modificarea parametrilor din unitatea electronică de control**

Este cunoscut, din studiile de specialitate, că injecţia de combustibil se face la un anumit timp şi este de o anumită durată. Injecţia directă de combustibil a evoluat foarte mult în ultimi ani, prezentând avantaje majore cu privire la creşterea performanţelor autovehiculelor. Astfel, injectorul care este un dispozitiv electromecanic, este alimentat cu 12 V de la o sursă, din momentul în care motorul este pornit. Cercetările experimentale realizate în cadrul laboratorului de Dinamica Autovehiculelor, din cadrul Facultăţii de Mecanică, Universitatea Politehnica din Timişoara, au făcut posibilă măsurarea în timp real a injecţiei de combustibil pentru un m.a.s. A fost utilizat un osciloscop, cu ajutorul căruia au putut fi urmările evoluţiile curentului de la bujie şi a tensiunii injectorului pentru un singur piston.

Rezultatele în urma simulărilor au condus la concluzia că măsurătorile realizate cu ajutorul osciloscopului sunt veridice, precum şi sincronizarea acestora cu literatura de specialitate [2]. Avantajele pe care le oferă simulările realizate în MATLAB/Simulink, sunt completate de către un alt software dedicat, DDT2000 [25], cu ajutorul căruia se pot achiziţiona şi modifica parametrii motorului, implicaţi în procesul de combustie al m.a.s.-lor (anexele 1 - 2), prin urmare un element cu ajutorul căruia pot fi modificaţi parametrii în vederea creşterii performanţelor motoarelor şi nu numai. Spre exemplu se pot adăuga funcţii noi, cum ar fi Start&Stop, softul permiţând prototipare, testare şi reglare. Reglajele realizate cu ajutorul softwareului DDT2000, sunt la nivelul marilor producători de autovehicule, acest software fiind dedicat grupului Dacia-Renault-Nissan. Mai mult decât reglajele realizate, software-ul DDT2000 este utilizat pentru programarea unităţilor electronice de comandă şi control din dotarea autovehiculelor, plecând de la ECU de bord, la calculatorul ce echipează sistemele auxiliare din dotarea acestora [104]. Tabelul 3.2 prezintă selectiv date înregistrate cu programul DDT2000.

**4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENŢA REGLAJELOR ASUPRA PERFORMANŢELOR MOTOARELOR CU APRINDERE PRIN SCÂNTEIE**

Motoarele cu ardere internă implică o serie de procese, care se desfăşoară în anumite condiţii, cum ar fi: presiuni ridicate ale amestecului carburant admis, temperaturi ridicate ale gazelor de evacuare, succesiunea de cicluri realizată în unităţi de timp de ordinul milisecundelor, etc., fenomene care duc la punerea în mişcare a autovehiculul. Monitorizarea acestora, analiza şi studiul în vederea îmbunătăţii proceselor, au condus la variaţia tehnologiei de-a lungul istoriei. Astfel, soluţia privind pulverizarea amestecului carburant pe traseul de admisie sau direct în interiorul camerei de ardere, îşi are origini încă de pe vremea lui Rudolf Diesel, care, analizând şi încercând să rezolve aceasta problemă, a condus spre realizarea injectorului. Autovehiculele electrice au luat naştere ca urmare a cercetărilor realizate de inginerii mecanici, IT şi electronişti în vederea creări unei alternative la autovehiculele termice, care sa fie mai facilă în exploatare, şi a fost atins şi acest ţel.

Acest capitol prezintă cercetările experimentale efectuate asupra unui motor de serie, ce echipează LOGAN Dacia. Se menţionează faptul că reglajele realizate asupra motorului de serie vizează o creştere a puterii efective şi a momentului motor efectiv de câteva procente, de asemenea urmărindu-se şi variaţia consumului de combustibil, încercându-se reducerea consumului de combustibil pe cât posibil. Desigur, se prevede şi situaţia pentru care odată cu creşterea performanţelor energetice ale motorului să crească şi consumul de combustibil.

PWM-ul reprezintă o aplicaţie preluată de multe domenii tehnice cum ar fi electronica de putere şi convertoarele statice, invertoare şi redresoare comandate. De asemenea şi de domeniul automotive, din aplicaţiile domeniului electric şi electronic. PWM-ul reprezintă modulaţia în timp a pulsului [21], fiind o tehnică utilizată frecvent pentru controlul puterii dispozitivelor electrice, realizată practic prin întrerupătoare electrice moderne de putere.

Literatura de specialitate ne prezintă modul de realizare al PWM-lui [52], [53]. Acesta utilizează semnale de formă rectangulară, a căror durată în timp, precum şi în amplitudine, este modulată ca rezultat al variaţiei valorilor medii a pulsului. Dacă se consideră un puls de forma *f(t)*, care prezintă o valoare minimă, ymin, o valoare maximă ymax, precum şi un *duty cycle* D, unde *duty cycle* reprezintă raportul dintre durata în care funcţia este activă (τ) şi perioada funcţiei (T), D=τ/T, atunci valoarea medie a pulsului este dată de relaţia:

În urma înregistrării variaţiei timpului de injecţie pentru motorul testat pentru cazurile precedente, s-a constata că odată cu creşterea turaţiei a crescut şi timpul de injecţie, situaţie evidenţiată la funcţionarea în sarcină, de asemenea şi odată cu creşterea forţei de încărcare. S-a constata că pentru motorul testat, acesta a prezentat o limitare a mai multor parametrii, aceste limitări fiind realizate din unitatea electronică de comandă şi control, din raţiuni de siguranţă odată cu proiectarea vehiculului. Prin eliminarea acestei limitări s-a constat o îmbunătăţire a performanţelor motorului testat. Parametrii implicaţi în acest proces sunt: bucla dublă de îmbogăţire – termen utilizat de software-ul DDT 2000 pentru evidenţierea momentelor în care acestea este activ sau nu, regulatorul de îmbogăţire al amestecului, factorul de îmbogăţire/ regulatorul de îmbogăţire al amestecului, consumul instantaneu de combustibil, viteza autovehiculului şi timpul de injecţie.

Din achiziţiile de date de pe motorul testat, s-a constat variaţia buclei duble de îmbogăţire – senzor care detectează activarea sau dezactivarea factorului de îmbogăţire şi a regulatorului de îmbogăţire.

În urma cercetărilor experimentale realizate asupra motorului testat K7J 1.4 MPI, Dacia Logan, s-a ajuns la concluzia că determinarea timpului de injecţie de combustibil, cu ajutorul modulării pulsului (PWM) este un avantaj major, datorită preciziei pe care o oferă. Pregătirea şi procesarea datelor, iniţial achiziţionate în timp real de pe vehiculul testat, privind realizarea modelelor de simulare, au condus la aplicarea monitorizării timpului de injecţie de pe vehiculul testat.

Măsurarea timpul şi a curentului de pe bujie a fost posibilă cu ajutorul osciloscopului, iar testarea autovehiculului pe standul cu role, la forţă de încărcare de 0 N precum şi de 2000 N au făcut posibilă realizarea modulaţiei pulsului în vederea modificării timpului de injecţie.

S-a constata că odată cu anularea limitării turaţiei din ECU al motorului anumiţi parametrii prezintă creşteri cu implicaţie directă asupra creşterii performanţelor enegretice ale motorului. Astfel factorul de îmbogăţire prezintă o creştere de peste 100%, consumul de combustibil de asemenea perzină un palier de ceştere, implicit şi timpul de injecţie pentru funcţionarea motorului la turaţii ridicate, prezintă o creştere de 50%, de la 10 ms la 15 ms. Urmare a modificările de mai sus menţionate, vehiculul prezintă o dinamică şi un comportament foarte bun la rularea pe standul cu role, viteza de rulare atinge valori foarte mari, ~ de 200 km/h, iar puterea efectivă a motorului testat perzintă o creştere de 11%, de la 54.4 kW la 60 kW.

# **5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA REGLAJELOR MOTOARELOR CU AJUTORUL ECU PROGRAMABILE, ŞI IMPLICAŢII ASUPRA PERFORMANŢELOR ENERGETICE ŞI EMISIILOR POLUANTE**

Acest capitol abordează modificările realizate asupra motorului Volvo 440 ce echipează autovehiculul Renault 5 GTT, testat experimental, vehicul destinat competiţiilor sportive, şi prezintă evoluţiile parametrilor monitorizaţi cu scopul creşterii performanţelor iniţiale. Principalii parametrii urmăriţi au fost curba de putere efectivă, curba de moment motor efectiv şi natura gazelor evacuate. Speciile poluante [96] au fost şi rămîn ţinta analizelor privind nocivitatea şi influenţa asupra producerii efectului se seră.

Studiul realizat asupra acestui motor privesc cu precădere modificarile cu privire la performantele energetice. Parametrii precum consumul de combustibil nu a fost monitorizat, acest lucru nefiind prioritar pentru scopul urmarit.

ECU a autovehiculelor este cea care gestionează funcţionarea la parametrii optimi ai acestuia [96]. Ea calculează necesarul de combustibil ce trebuie injectat în camera de ardere, în funcţie de presiunea din colectorul de admisie şi de turaţia motorului. ECU va comanda închiderea şi deschiderea supapelor injectorului, ţinând cont şi de alţi parametri cum ar fi temperatura aerului şi lichidului de răcire din motor, poziţia clapetei obturator, poziţia pistonului la PMI etc.

S-au realizat încercări experimentale, la rularea pe standul de probe, pentru diferite forţe de încărcare (a standului), de la funcţionarea la ralanti până la sarcina de 2000N. Au fost înregistrate pe rând, speciile poluante amintite mai sus, pentru forţa de încărcare de 200N, 400N, 600N, 1000N, 1500N şi 2000N [79], [90].

Pentru determinarea amestecului carburant optim astfel încât motorul să prezinte un comportament optim, menit să ofere şi creşteri ale puterii efective şi ale momentului motor efectiv, aceste valori implictie vor fi modificate funcţie de dorinţe. Astfel pentru ca motorul să prezinte un amestec bogat, deci implicti o creştere a puterii efective, senorul de oxigen lambda bandă largă va emite voltaj mare, de 1.5 mV, până la maxim 2.5 mV, iar ECU va gestiona amestecul carburant prin parametrul AFR afişat tabelar sau 3D.

Pentru primul caz, la forţă de încărcare de 0 N, se poate observa că evoluţiile speciilor poluante prezintă valori relativ normale, chiar dacă CO2 prezintă o uşoara tendinţă crescătoare a valorilor, de asemenea şi NOx. Doar emisia de hidrocarburi nearse prezintă, în jurul valorii de 2500 rot/min, un punct de creştere destul de ridicat, consecinţă posibilă ca urmare a adaptării/încălzirii motorului (ajungerii la regimul optim de funcţionare).

Anexa 9 prezintă variaţiile curbelor de putere şi de moment motor efectiv pentru rularea pe standul cu role Maha LPS 3000, la forţă de încărcare 0N.

S-a constatat fapul că în urma reglajelor realizate la nivelul ECU cu ajutorul calculatorului programabil MSQ, competate cu modificările mecanice realizate asupra motorului testat, puterea efectivă a înregistrat o creştere seminificativă la valoarea de 155kW.

Din analiza figurilor prezentate, inclusive şi cazurile din anexele 10, 11 şi 12, şi anume rularea autovehiculului testat la forţă de încărcare de 0 N şi la forţă de încărcare de 200 N se constată o scădere a speciilor CO şi HC la creşterea coeficientului excesului de aer lambda; acest lucru de datorează îmbunătăţirii procesului de ardere acre devine din ce în ce mai completă prin existenţa aerului în exces în cilindrii motorului (λ>1). Oxizii de azot precum şi dioxidul de carbon prezintă curbe crescătoare, acest lucru datorându-se de asemenea aerului în exces prezent în amestecul carburant, datorită modificărilor realizate din unitatea electronică de control programabilă.

Valoarea turaţiei motorului de 2000 – 2500 rot/min reprezintă un punct de inflexiune pentru mai toate speciile poluante analizate, indiferent de variaţia acestora, fie că cresc fie ca scad. Cauza o reprezintă cel mai probabil adaptarea regimului motorului la funcţionarea cu ECU programabil.

În capitolul precedent au fost prezentate evoluţiile speciilor poluante emise de către autovehiculul testat, Renault 5 GTT, supus cercetărilor experimentale, motor asupra căruia au fost realizate reglaje privind creşterea de putere şi de moment cu ajutorul unităţii electronice de calcul de control programabile. Concluziile la care s-au ajuns au vizat evoluţiile speciilor poluante analizate pentru diferite forţe de încărcare, plecând de la 0N şi ajungând până la 2000N. În cele ce urmează vor fi prezentate comparativ evoluţiile gazelor de evacuare CO, CO2, O2, HC şi NOx, plecând de la forţa de încărcare de zero N până la forţa maximă de încărcare la care a fost supus autovehiculul, şi anume 2000N. Forţa de încărcare se va nota mai departe cu F.

Următorul caz studiat, asupra căruia au fost realizate teoretice şi cercetări experimentale este motorului GX ce echipează Volkswagen Golf II [111].

S-au realizat asupra motorului o serie de modificări mecanice, dintre care amintim: arbore cotit forjat (1.8l, 16V, KR), biele forjate (1.8l, 16V, KR), pistoane forjate (1.8l, 16V, KR), volant uşurat (de la 8 kg la 3 kg prin strunjire), raportul de compresie de 9.2:1, injecţie electronică MSQ II V30, injectoare – 4 bari, regulator reglabil pentru presiune combustibil, presiune aer admisie – 0,25 bari, compresor G 60, traseu evacuare inox – 63 mm, traseu admisie aer – 60 mm, intercooler. Pentru completarea acestor modificări mecanice s-a realizat echiparea motorului cu ECU programabil MSQ, destinat să controleze amestecul carburant asemenea modelului prezentat anterior (motorul Volvo 440 Turbo, ce echipează Renault 5 GTT),scopul fiind creşterea performanţelor energetice ale motorului. S-a urmărit de asemenea şi natura gazelor de evacuare emise de către motorul testat, la rularea cu forţă de încărcare de 0N, 400N şi 2000N. S-a avut în vederea controulul AFR cu ajutorul sondei lambda bandă largă (wide band), realizându-se noi hărţi pentru amestecul carburant. În figurile 5.98 şi 5.99 se prezintă curbele de putere efectivă şi de moment motor efectiv. În anexa 16 se prezintă variaţia acestor curbe ridicate pe standul dinamic cu role Maha LPS 3000.

Cercetările experimentale privind Variaţia performanţelor energetice precum şi cele privind natura gazelor de evacuare ale motorul testat, Volvo 440 1.7 turbo, oferă o serie de concluzii care se desprind din faptul că echiparea unui autovehicul standard cu un echipament suplimentar de control al întregului autovehicul la nivelul senzorilor şi al traductorilor, conduce la un control mult mai optim atunci când este vorba de creşterea performanţelor autovehiculului, de asemenea şi monitorizarea parametrilor implicaţi în acest proces este mai facilă şi mai uşor de controlat. Din punct de vedere al naturii speciilor poluante, analizele efectuate cu ajutorul echipamentelor specializate, şi anume MET 6.1, în completare cu standul de încercări experimentale Maha LPS 3000, ne-au oferit posibilitatea monitorizării acestor pe întrega durată a măsurătorilor experimentale.

# **6. CONCLUZII FINALE ŞI CONTRIBUŢII PERSONALE**

S-au efectuat modificări, în scopul creşterii performanţelor energetice ale motoarelor cu ardere internă, asupra timpului de injecţie respectiv şi ai altor parametrii din unitatea electronică de calcul şi au fost monitorizate speciile poluante emise de către motoarele testate. În acest sens au fost aduse modificări, utilizând programe dedicate pentru achiziţia de date şi gestionarea informaţiilor, la nivelul ECU motor, iar rezultatele modificărilor au fost testate pe standul dinamic, unde s-au obţinut curbele caracteristice şi valori ale noxelor specifice diferitelor regimuri de funcţionare. S-a utilizat programul DDT2000, specific motoarelor din familia Renault, care a permis depăşirea numeroaselor “bariere” industriale care garantau încadrarea motoarelor în grupa de poluare originală.

Din unitatea ECU a motorului testat s-a eliminat limitatorul electronic de turaţiei a motorului, setare impusă pe linia de asamblare a vehiculului. Factorul de îmbogăţire al amestecului prezintă o creştere semnificativă, proporţională cu turaţia, cu implicaţie directă asupra consumului de combustibil. Timpii de injecţie se modifică şi ei, ajungând de la aproximativ 10 ms la 15 ms. Creşterea performanţelor energetice pe care o aduce anularea limitării turaţiei se regăseşte în curba de putere efectivă şi de moment motor efectiv, constatându-se o majorare de aproximativ 10% faţă de valorile de referinţă, în condiţiile menţinerii echipării iniţiale, nemodificate, ale componentelor motorului.

Modulaţia pulsului, generat pentru momentele de injecţie de combustibil, (PWM), realizată cu ajutorul programului de simulare MATLAB/Simulink a permis generarea semnalului, pornind de la cele mai importante semnale, de la senzorul de turaţie şi senzorul lambda. S-a aplicat tehnologia PWM pentru determinare momentului injecţiei, funcţie de cantitatea de aer şi de cantitatea de combustibil. Au fost realizate două grafice comparative, pentru cazul teoretic şi pentru cazul real, bazate pe datele de achiziţie de pe vehiculul testat şi cele modelate prin aplicaţia MATLAB/Simulink. Cele două curbe au prezentat aluri foarte apropiate, concluzia fiind: determinarea timpului de injecţie real, a fost foarte apropiat de cel teoretic, lucru încurajator pentru realizarea şi modelarea acestui reglaj.

* S-a realizat variaţia timpului de injecţie prin modelare şi simulare, comparat cu variaţia timpului de injecţie măsurat, observându-se a apropiere considerabilă celor două curbe.
* S-a realizat anularea limitării de turaţie prezentându-se avantajele pe care le aduce acest reglaj. S-a obţinut o creştere a puterii efective a motorului testat de 10%.
* S-au înregistrat date reale de pe motorul K7J cu ajutorul programului dedicat DDT 2000, iar prelucrarea acestora s-a realizat cu ajutorul programului de simulare MATLAB/Simulink.
* S-a realizat înregistrarea variaţiei tensiunii pe injector şi a curentului de la bujie pentru funcţionarea motorului la forţă de încărcare de 0N, la diferite turaţii, precum şi la forţă de încărcare de 2000N la diferite de încărcare.
* S-au realiza cercetări experimentale asupra motorului Volvo 440, ce echipează Renault 5 GTT, cu privire la echiparea acestuia cu ECU programabil, în scopul îmbunătăţirii performanţelor energetice.
* S-a realizat echiparea autovehiculului cu noi sisteme privind admisia şi evacuarea, gestiunea electronică, filtrul de aer, injectoare (motor tuningul).