

TEZA DE ABILITARE

(REZUMAT)

Autor
Prof. univ. dr. ing. Radu CHIRIAC

Octombrie 2016

CONTRIBUȚII LA REDUCEREA EMISIILOR POLUANTE ALE MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ PRIN UTILZAREA DE COMBUSTIBILI ALTERNATIVI

REZUMAT

Prezenta lucrare de abilitare reflectă realizările profesionale obținute de autor după anul 1995, în care a obținut Titlul de DOCTOR în ramura de științe TEHNICĂ, specializarea MAȘINI ȘI ECHIPAMENTE TERMICE. Partea principală a tezei de abilitare o reprezintă contribuțiile aduse de autor la dezvoltarea cunoașterii privind posibilitățile pe care le oferă utilizarea combustibililor alternativi la motoarele cu ardere internă în scopul reducerii emisiilor poluante produse de acestea în condițiile menținerii pe cât posibil a performanțelor și economicității.

În ultima perioadă a devenit tot mai evident faptul că dezvoltarea omenirii bazată pe consumul în creștere de energie provenită prin arderea combustibililor fosili este total nesustenabilă și deci implicit fragilă. Apropierea de un model de dezvoltare durabilă care să permită și o păstrare a echilibrelor naturale atmosferice și terestre presupune o schimbare de opțiune în ceea ce privește producerea de energie pentru diverse domenii de activitate. Unul dintre cele mai sensibile domenii din acest punct de vedere este acela al transporturilor pentru care aproape 98% din combustibilii folosiți sunt de origine petrolieră. În condițiile în care, prin arderea acestor combustibili rezultă cantități imense de emisii poluante, de monoxid de carbon CO, hidrocarburi nearse HC, oxizi de azot NO_x, particule de funingine PM, și de gaze cu efect de seră între care bioxidul de carbon CO₂, reprezintă o componentă importantă, normele privind emisiile poluante în vigoare și cele de perspectivă au devenit și vor deveni din ce în ce mai restrictive. Astfel spre exemplu trecerea de la normele Euro 5 la normele Euro 6c care se va produce treptat între anii 2016-2019 pentru diverse tipuri de motoare destinate autovehiculelor ușoare va impune în cazul motoarelor cu aprindere prin scânteie reducerea concentrației de particule ca masă PM (mg/km) cu 10% precum și introducerea limitării ca număr de particule PN (Nb/km). În cazul motoarelor Diesel situația este similară pentru particule însă cu o reducere drastică a emisiilor cumulate de HC + NO_x între 26 și 38,5%. Această reducere va obliga producătorii de motoare Diesel ușoare să investească substanțial în echipamentele de depoluare. În ceea ce privește reducerea emisiei de CO₂ scăderea propusă este substanțială de 20,8% de la un nivel de 120 [g/km] în 2012 până la 95 [g/km] în 2020. În acest context o mare parte dintre cercetările realizate de către marile companii producătoare de motoare s-au orientat spre utilizarea combustibililor alternativi cu conținut redus de carbon sau neutri din punct de vedere al amprentei de carbon.

Teza de abilitare elaborată de autorul ei se înscrie în acest efort global de acțiune în sensul reducerii emisiilor poluante ale motoarelor cu ardere internă prin promovarea combustibililor alternativi care nu sunt neapărat de origine nonpetrolieră.

Lucrarea este organizată pe parcursul a 6 capitole.

Capitolul 1 prezintă o introducere în care se evidențiază situația energetică actuală globală privind consumurile de energie și estimările privind durata de

acoperire a lor în situația utilizării actualelor rezerve de petrol, gaze naturale și cărbune. Este precizat faptul că sunt numai câteva surse de energie care pot satisface necesitățile actuale ale umanității între care combustibilii fosili, energia nucleară, cea hidraulică, eoliană, geotermală și solară și că viteza actuală de consum a combustibililor fosili depășește cu mult viteza de descoperire a noi rezerve, precum și efectul negativ pe care arderea acestora îl produce asupra atmosferei prin degajarea de mari cantități de gaze cu efect de seră. Se arată de asemenea că pentru a putea satisface necesitățile anticipate de energie este necesară recuperarea de energie și utilizarea din ce în ce mai intensă a energiilor regenerabile. În acest context se întrevide deja că o partajare între combustibilii fosili și cei regenerabili ar putea satisface cerințele energetice pe termen mediu și lung, perioadă în care hidrogenul ar putea deveni un vector energetic important.

Capitolul al 2-lea al lucrării cuprinde o trecere în revistă a direcțiilor de cercetare ce sunt urmărite în prezent pentru introducerea treptată a noilor combustibili alternativi. Este estimat că trecerea la combustibilii alternativi având un conținut redus de carbon poate să contribuie substanțial la reducerea emisiilor de gaze cu potențial ridicat de efect de seră. Dintre cele mai atractive soluții pare să se desprindă aceea a producerii de biocombustibili și de hidrogen pornind de la biomasă și cărbune cu sechestrarea bioxidului de carbon. Diferiți combustibili noi ca spre exemplu gazul petrolier lichefiat GPL, gazul natural comprimat GNC, alcoolii ca etanolul E100, metanolul M100, biodieselul B100 sau hidrogenul comprimat respectiv lichefiat H₂C, H₂L vor fi testați în decadele următoare și promovați ca alternative posibile pe termen lung la actualii combustibili fosili. Pe termen scurt combustibili în amestec ca spre exemplu E85 (85% etanol în benzină) sau B20 (20% biodiesel în motorină) se vor distribui și vor înlocui treptat actualii combustibili de origine petrolieră. Este arătat de asemenea că după unele studii la nivelul anilor 2050 este posibil ca hidrogenul obținut prin electroliza apei să devină un posibil combustibil pentru transport.

Tot în acest capitol sunt prezentate o parte dintre activitățile desfășurate de autorul acestei teze pentru utilizarea combustibililor alternativi în motoare, activități care s-au desfășurat încă din anii 1984-85 și până în prezent. Aceste activități sunt grupate pe 3 direcții majore.

Astfel prima dintre ele vizează cercetările efectuate de autor privind utilizarea gazului petrolier lichefiat și a gazului natural comprimat. Sunt arătate rezultatele obținute în urma transformărilor unui motor Diesel funcționând cu motorină într-un motor cu aprindere prin scânteie funcționând cu GPL. Aceste rezultate obținute în cadrul unui contract de cercetare sub programul național Relansin au demonstrat că se pot obține reduceri importante de emisii poluante CO și HC în condițiile păstrării performanțelor de putere inițiale ale motorului original. Avantajul major a fost acela al eliminării complete a emisiei de particule care este caracteristică motoarelor Diesel și încadrarea în normele de poluare Euro 3 valabile la data realizării contractului. Totodată au fost evidențiate problemele care au apărut la optimizarea funcționării motorului respectiv din punct de vedere al evitării detonației și al menținerii variabilității ciclice în limite admisibile. În afară de studiul experimental amplu au fost realizate și o serie de simulări care au reprezentat baza unui studiu teoretic solid privind înțelegerea factorilor care controlează apariția fenomenului de detonație și a corelațiilor care se pot stabili între acești factori și proprietățile fizico-chimice ale gazului petrolier lichefiat. Lucrările publicate pe acest subiect au fost citate de numeroși alți autori. În privința utilizării gazului natural comprimat sunt prezentate rezultatele obținute în urma studiului efectuat privind funcționarea unui motor

alimentat în sistem dual-fuel (injecție pilot de motorină pentru ușurința aprinderii) și gaz natural pentru arderea normală. Studiul a evidențiat în mod similar dificultățile legate de controlul arderii în sensul evitării fenomenului de detonație care sunt mult mai mari în cazul unui astfel de procedeu de ardere.

Cea de-a doua direcție de cercetare a fost destinată studiului asupra posibilității de utilizare a hidrogenului în motoarele cu ardere internă. Această direcție reprezintă de fapt cea mai importantă parte a activității de cercetare a autorului acestei teze de abilitare. Ea a vizat încă începând cu teza de doctorat utilizarea fracțiunilor mici de hidrogen pentru ameliorarea performanțelor și reducerea emisiilor poluante ale motoarelor cu ardere internă. Studiile efectuate au arătat ce se poate obține în cazul în care mici proporții de hidrogen substituie parțial combustibilul de bază. Astfel rezultatele obținute pe motoare cu aprindere prin scânteie alimentate cu benzină sau cu GPL cu aport redus de hidrogen au pus în evidență reducerea emisiilor de CO, de CO₂ și de hidrocarburi nearse HC asociată cu o ușoară creștere a emisiilor de oxizi de azot NO_x. Fenomenul de variabilitate s-a dovedit a fi mult mai controlabil prin aportul de hidrogen, iar limita arderii în condiții normale a amestecurilor sărace sau a celor puternic diluate cu gaze arse a putut fi împinsă spre valori cu mult peste cele ale combustibilului de bază. Aplicarea aceleași strategii și pentru motoarele Diesel a evidențiat în plus posibilitatea reducerii emisiei de particule PM prin scăderea valorii cifrei de fum. Lucrările publicate pe această temă prioritară au fost și sunt în continuare citate de numeroși cercetători.

Ce-a de treia direcție de cercetare prezentată în teza de abilitare este aceea a utilizării biodieselului în motoarele Diesel. Studiile elaborate de autor până în prezent s-au limitat numai la utilizarea B20 (biodiesel în procent volumetric de 20% în amestec cu motorină în procent volumetric de 80%). Combustibili cu un conținut mai ridicat de biodiesel de ordinul 30% (B30) sau 50% (B50) nu au fost studiați de autor în mod experimental chiar dacă unele studii teoretice prin simulare au arătat că aceștia au un potențial mai ridicat de reducere a emisiilor poluante decât B20. Limitările impuse pentru folosirea acestor amestecuri cu conținut mai ridicat de biodiesel sunt însă determinate de considerente tehnico-economice și de disponibilitate (producție). Studiile efectuate de autor asupra B20 în comparație cu motorina au demonstrat posibilitatea reducerii CO, a hidrocarburilor HC și a fumului dar o creștere a oxizilor de azot NO_x precum și o reducere a presiunii medii efective dar și a randamentului efectiv al motorului din cauza proprietăților fizico-chimice specifice ale biodieselului.

În cadrul aceluiași capitol urmează o parte destinată evaluării rezultatelor obținute de autor prin utilizarea unor amestecuri de combustibili alternativi. Astfel pentru motoare cu aprindere prin scânteie s-a studiat posibilitatea alimentării cu GPL+Hidrogen sau GPL+Gaz bogat în hidrogen din punct de vedere al performanțelor, eficienței și emisiilor poluante. S-a evidențiat faptul că reducerea emisiei de CO₂ poate ajunge de până la 25-30% în anumite regimuri funcționale prin trecerea de la benzină la GPL+Hidrogen (sau Gaz bogat în hidrogen) și deplasarea dozajului din zona ușor bogat în zona ușor sărac cu menținerea sau chiar creșterea ușoară de până la 3-4% a randamentului efectiv. Acest lucru a fost explicat prin înlocuirea benzinei cu GPL care are un procent de carbon mai redus în moleculă, dar și prin efectul favorabil al scurtării arderii datorită vitezei de ardere ridicate a hidrogenului. În cazul studiului efectuat pe un motor Diesel prezența hidrogenului în fracțiuni reduse (în aerul admis de până la 8% energetic) a determinat reducerea CO, a CO₂ și respectiv a fumului de 11%, 4% și respectiv 25%.

O ultimă parte din acest capitol a fost destinată analizei posibilităților și perspectivelor de utilizare a hidrogenului în motoarele cu ardere internă. Sunt

prezentate rezultatele unui studiu efectuat prin simulare cu ajutorul programului AVL BOOST privind posibilitatea utilizării în motoarele cu aprindere prin scânteie cu injecție directă de benzină a hidrogenului în fază gazoasă introdus tot prin injecție directă.

Studiul teoretic realizat relevă faptul că ar putea exista un amestec optim de 50-50% fracțiuni masice benzină-hidrogen pentru care performanțele motorului în formula propusă s-ar ameliora cu 26.5% pentru hidrogen 50%, (Fig. 1) respectiv cu o scădere a emisiei de CO de 60% (Fig.2) pentru aceeași fracțiune de hidrogen în amestec.

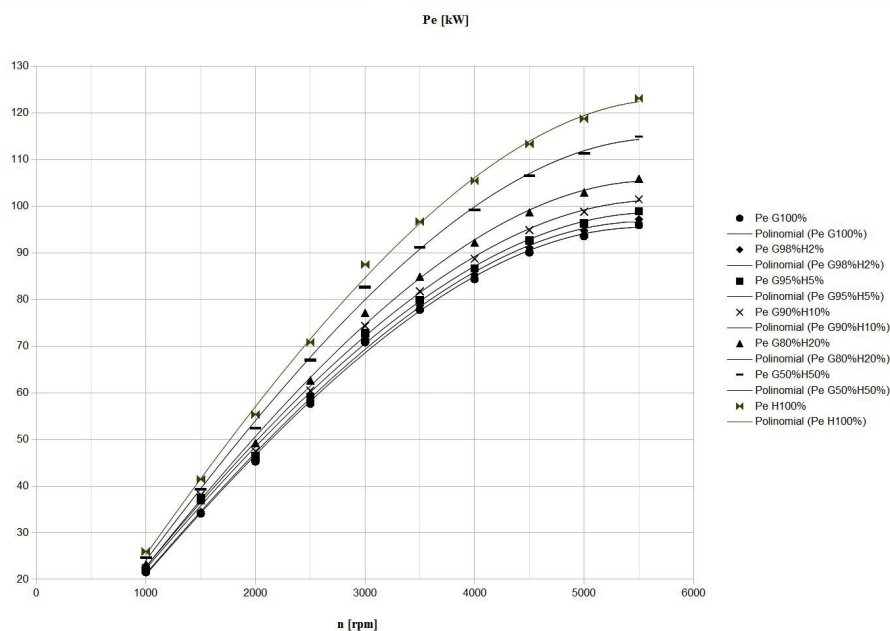


Fig. 1. Variația puterii efective în funcție de turație la sarcină totală

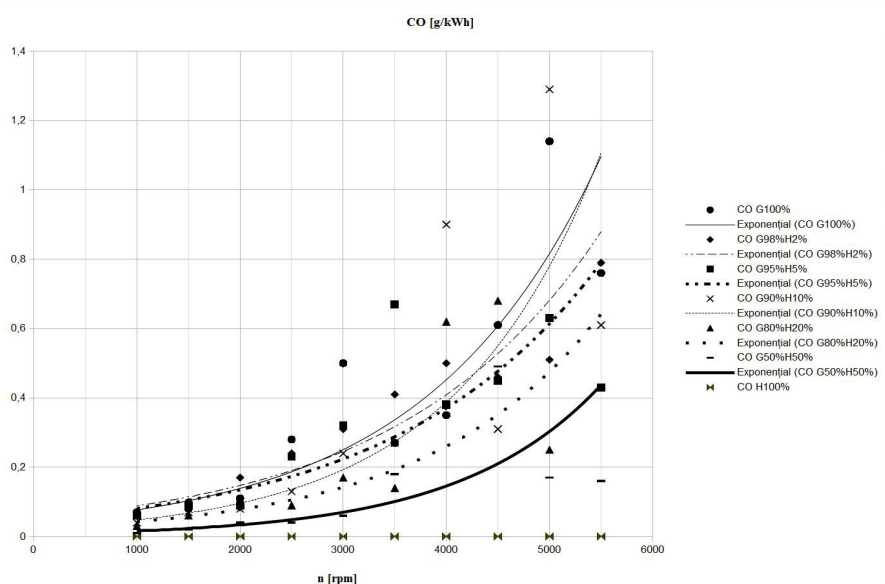


Fig. 2. Variația emisiei de CO în funcție de turație la sarcină totală

Această soluție de compromis pare să combine avantajele densității de energie ridicată pe care le are combustibilul lichid (benzina) cu cele ale vitezei de ardere ridicată și a conținutului nul de carbon pe care le are combustibilul gazos

(hidrogenul). Totodată soluția propusă poate să diminueze mult din problemele de producție, stocare și distribuție pe care le pune utilizarea unor cantități mari de hidrogen în cazul în care ar fi utilizat în formula 100% hidrogen.

Ultima parte a acestui capitol o reprezintă concluziile. În rezumat se pot sintetiza următoarele: toți combustibilii alternativi testați de autorul acestei teze de abilitare în diverse studii au demonstrat posibilitățile și limitările pe care le oferă în privința reducerii emisiilor poluante produse de motoarele cu ardere internă. Șansa de a introduce un combustibil alternativ pur în alimentarea motoarelor în viitorul apropiat este relativ redusă și cu toate că un efort deosebit este dedicat dezvoltării vehiculelor electrice, motoarele cu ardere internă alimentate cu noi formule de combustibili – amestecuri de combustibili clasici de origine petrolieră și de combustibili alternativi – vor continua să domine sectorul transporturilor precum și altele ca cel industrial și agricultura.

O concluzie particulară pe care autorul acestei teze o agreează este aceea exprimată într-o declarație de presă făcută de Kenichiro Saruwatari, vice-președintele R&D de la Mazda Europe în revista Engine Technology Review Iunie 2016: “Toată lumea vorbește și lucrează la vehiculele electrice, dar dacă am crea un nou combustibil care să nu producă emisii, ca biocarburantul sau biodieselul sau altceva similar atunci eficiența energetică globală a vehiculelor propulsate de motoare cu ardere internă va fi mult mai bună decât a oricărui vehicul electric.”

Eforturile majore dedicate îmbunătățirii continue și acumularea de cunoștințe vaste realizată în timpul evoluției motoarelor cu ardere internă pot fi principalele motive pentru care acestea vor continua să domine sectorul transporturilor. Activitatea de cercetare desfășurată de autorul acestei teze de abilitare face parte din acest efort global de îmbunătățire a performanțelor și de reducere a emisiilor poluante a motoarelor prin utilizarea de combustibili alternativi.

În capitolul 3 sunt prezentate brevetele, articolele publicate în reviste de specialitate având colegiu redacțional, articolele publicate în volumele unor conferințe internaționale, articolele publicate în volumele unor manifestări științifice naționale, proiectele de cercetare la care autorul a fost fie director sau responsabil de proiect, fie membru al echipei de cercetare, prezentările la conferințe, cărțile și manualele publicate la edituri recunoscute pe plan național sau local. Marea majoritate a publicațiilor autorului acestei teze sunt din domeniul reducerii emisiilor produse de motoarele cu ardere internă.

Capitolul 4 se referă la activitățile de coordonare de lucrări de licență, de masterat și îndrumare de lucrări de doctorat pe care autorul acestei teze de abilitare le-a desfășurat pe parcursul a mai mult de 3 decenii de activitate didactică

În capitolul 5 sunt descrise activitățile educaționale și de cercetare desfășurate pe bază de contract de parteneriat. Sunt prezentate acordurile bilaterale care au fost semnate cu diferite instituții de învățământ superior (Politecnico di Torino, Université d’Orleans, Conservatoire National des Arts et Métiers Paris) și sunt în derulare 2 dintre ele fiind coordonate chiar de către autorul tezei de abilitare. Sunt de asemenea prezentate o parte dintre realizările obținute împreună cu echipele de cercetare pe baza unor parteneriate care au fost încheiate cu firme și companii internaționale (AVL-Austria, ETAS-Germania) și naționale (RTR-România) ce activează în arial cercetării din domeniul motoarelor cu ardere internă.

Capitolul 6 prezintă participarea autorului la dezvoltarea infrastructurii de cercetare a departamentului. Sunt precizate laboratoarele care au fost modernizate precum și cele care au fost nou create de către autor. Pentru cele 6 laboratoare descrise considerate laboratoare modernizate și nou create sunt menționate echipamentele care le compun, locația, dimensiunea suprafeței pe care o ocupă, cursurile cărora le sunt aferente și lucrările de laborator care se efectuează. Două dintre aceste laboratoare (cele aflate în spațiile CG 059-060 și CG 068-069) pot fi utilizate și pentru lucrări de cercetare mai rafinate cum sunt cele pentru tezele de doctorat sau contractele de cercetare cu teme prioritare din cadrul programelor naționale sau lucrări de cercetare ale companiilor producătoare de motoare sau echipamente ale acestora.

În concluzie se poate constata că lucrările de cercetare raportate prin conținutul tezei de abilitare au fost efectuate de autor, fie în laboratoarele departamentului din cadrul Universității Politehnica București, fie în laboratoarele partenerilor. Aceste cercetări realizate în funcția de director sau responsabil de proiect, cât și în funcția de membru în echipa de cercetare sunt contribuții originale la fiecare cercetare amintită în prezenta teză de abilitare.