



Universitatea POLITEHNICA din București

Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică
Termotehnică, motoare, echipamente termice și frigorigice

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Studiu privind performanțele, emisiile poluante și caracteristicile arderii pentru un motor diesel alimentat cu biocombustibil B20

Study on Performance, Emissions and Combustion Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Biodiesel B20

Autor: Mohanad Hamzah Hussein Alduhaidahawi

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. dr. ing. DOBROVICESCU Alexandru	de la	UPB, Romania
Conducător de doctorat	Prof. dr. ing. BADESCU Viorel	de la	UPB, Romania
Referent	Prof. dr. ing. CHIRIAC Radu	de la	UPB, Romania
Referent	Prof. dr. ing. DESCOMBES Georges	de la	CNAM, France
Referent	Prof. dr. ing. BURNETE Nicolae	de la	UTCN, Romania

**București
2017**

CUPRINS

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

- 1.1. Introducere
- 1.2. Motivarea proiectului
- 1.3. Obiectivul studiului
- 1.4. Structura tezei

CAPITOLUL 2. ANALIZA DOCUMENTARĂ

- 2.1. Motorul Diesel
 - 2.1.1. Ciclul funcțional al motorului Diesel
 - 2.1.2. Cursa de admisie
 - 2.1.3. Cursa de comprimare
 - 2.1.4. Cursa de destindere
 - 2.1.5. Cursa de evacuare
- 2.2. Analiza ciclului Diesel
- 2.3. Obținerea biodieselului
- 2.4. Originile biodieselului obținut din ulei de rapiță
 - 2.4.1. Efectul biodieselului din rapiță asupra întârzierii la autoaprindere (ID)
 - 2.4.2. Efectul biodieselului din rapiță asupra caracteristicilor arderii
 - 2.4.2.1. Viteza de degajare a căldurii
 - 2.4.2.2. Presiunea din cilindru
 - 2.4.3. Efectul biodieselului din rapiță asupra performanțelor motorului
 - 2.4.3.1. Puterea efectivă și cuplul efectiv
 - 2.4.3.2. Consumul specific efectiv de combustibil (BSFC)
 - 2.4.3.3. Randamentul efectiv (BTE %)
 - 2.4.4. Efectul biodieselului din rapiță asupra emisiilor poluante
 - 2.4.4.1. Emisiile de monoxid de carbon (CO)
 - 2.4.4.2. Emisiile de dioxid de carbon (CO₂)
 - 2.4.4.3. Emisiile de oxizi de azot (NO_x)
 - 2.4.4.4. Emisiile de particule (PM)
- 2.5. Efectul biodieselului asupra pornirii la rece a motorului
- 2.6. Efectul biodieselului asupra depunerilor de la injectoare și în camera de ardere
- 2.7. Efectul biodieselului asupra configurației jetului
 - 2.7.1. Dezvoltarea jetului
 - 2.7.2. Lungimea de atomizare a jetului
 - 2.7.3. Distribuția dimensională a picăturilor jetului
 - 2.7.4. Penetrația jetului
- 2.8. Concluzii

CAPITOLUL 3. STUDIU EXPERIMENTAL AL EFECTULUI MOTORINEI ȘI BIODIESELULUI B20 ASUPRA PERFORMANTELOR, CARACTERISTICILOR ARDERII ȘI EMISIILOR POLUANTE

- 3.1. Introducere
- 3.2. Instrumentarea motorului diesel
 - 3.2.1. Sistemul de măsurare și control al turației și cuplului
 - 3.2.2. Măsurarea temperaturilor
 - 3.2.3. Măsurarea presiunii din cilindru
 - 3.2.4. Măsurarea presiunii din conducta de injecție
 - 3.2.5. Analizorul de gaze
- 3.3. Metoda experimentală

- 3.4. Proceduri de calibrare ale instrumentelor de măsură
- 3.5. Analiza erorilor datelor experimentale
 - 3.5.1. Valoare medie
- 3.6. Proprietățile combustibililor testați
- 3.7. Rezultate și discuții
 - 3.7.1. Presiunea din cilindru
 - 3.7.2. Viteza de degajare a căldurii
 - 3.7.3. Caracteristica de degajare a căldurii
 - 3.7.4. Puterea efectivă
 - 3.7.5. Cuplul efectiv
 - 3.7.6. Consumul specific efectiv de combustibil (BSFC)
 - 3.7.7. Emisiile de monoxid de carbon (CO)
 - 3.7.8. Emisiile de fum (FSN)
 - 3.7.9. Emisiile de oxizi de azot (NO_x)
- 3.8. Emisiile poluante și întârzierea la autoaprindere ale unui motor diesel alimentat cu motorină și biodiesel B20, îmbogățit cu hidrogen
 - 3.8.1. Emisiile de fum (FSN)
 - 3.8.2. Emisiile de monoxid de carbon (CO).
 - 3.8.3. Emisiile totale de hidrocarburi nearse (THC)
 - 3.8.4. Emisiile de oxizi de azot (NO_x)
 - 3.8.5. Întârzierea la autoaprindere (ID)
- 3.9. Concluzii

CAPITOLUL 4. INVESTIGAȚIA FORMĂRII AMESTECULUI ÎNTR-UN MOTOR DIESEL ALIMENTAT CU MOTORINĂ PURĂ ȘI BIODIESEL B20

- 4.1. Introducere
- 4.2. Sisteme de injecție cu pompe rotative
- 4.3. Modelul injecției
- 4.4. Rezultate și discuții
 - 4.4.1. Legea de ridicare a acului injectorului
 - 4.4.2. Presiunea din conducta de combustibil
 - 4.4.3. Penetrația jetului
 - 4.4.4. Unghiul de dispersie a conului jetului
 - 4.4.5. Diametrul mediu Sauter (SMD)
- 4.5. Concluzii

CAPITOLUL 5. INVESTIGAȚIE ASUPRA CARACTERISTICILOR PROCESULUI DE ARDERE ALE UNUI MOTOR DIESEL ALIMENTAT CU MOTORINĂ ȘI BIODIESEL B20

- 5.1. Introducere
- 5.2. Model simbolic al motorului
 - 5.2.1. Concepția modelului
 - 5.2.2. Modelul de transfer de căldură în cilindru
 - 5.2.3. Modelul de ardere
 - 5.2.4. Modelul de formare al oxizilor de azot
 - 5.2.5. Modelul de formare al monoxidului de carbon
 - 5.2.6. Modelul de formare al funinginii
- 5.3. Proceduri de simulare
- 5.4. Calibrarea modelului
 - 5.4.1. Presiunea din cilindru
 - 5.4.2. Consumul specific efectiv de combustibil (BSFC)
 - 5.4.3. Cuplul efectiv
 - 5.4.4. Puterea efectivă
 - 5.4.5. Randamentul efectiv
 - 5.4.6. Emisiile de oxizi de azot (NO_x)
 - 5.4.7. Emisiile de monoxid de carbon (CO)

5.5. Rezultate și discuții

5.5.1. Efectul biodieselului B20 asupra perioadei de întârziere la autoaprindere

5.5.2. Efectul biodieselului B20 asupra duratei arderii

5.5.3. Presiunea maximă din cilindru

5.5.4. Temperatura maximă din cilindru

5.5.5. Temperatura încălzirii cilindrului

5.5.6. Coeficientul de transfer de căldură

5.6. Concluzii

CAPITOLUL 6. PERIOADA DE ÎNTÂRZIERE LA AUTOAPRINDERE A UNUI MOTOR CU APRINDERE PRIN COMPRIARE ALIMENTAT CU MOTORINĂ ȘI BIODIESEL B20

6.1. Introducere

6.2. Fundament

6.3. Momentul de început al arderii (SOC)

6.4. Rezultate și discuții

6.5. Perioada de întârziere la autoaprindere estimată prin corelații

6.6. Concluzii

CAPITOLUL 7. CONCLUZII

7.1. Rezumat

7.2. Principalele constatări ale studiului

7.3. Contribuții proprii

7.4. Sugestii pentru cercetare ulterioară

Referințe

Anexa A. Modelul injecției (AVL_HYDSIM)

Anexa B. Proprietățile combustibililor testați

Anexa C. Modelul motorului Diesel (AVL_Boost)

Anexa D. Lista publicațiilor

PREFAȚĂ

Cuvintele nu pot exprima cât de recunoscător îi sunt coordonatorului meu Acad. prof. Dr. ing. Viorel BĂDESCU și co-coordonatorului meu Prof. dr. Ing. Radu CHIRIAC, care au fost mentori extraordinari pentru mine . Aș dori să le mulțumesc pentru că m-au încurajat să-mi dezvolt abilitățile de cercetător științific și să finalizez prezenta teză. Mi-au dat sfaturi neprețuite în decursul acestei cercetări și m-au sprijinit în ascensiunea mea profesională....

Aș dori să-mi exprim aprecierea și deosebite mulțumiri pentru prof. Dr. Marek Brabec, care m-a ajutat în prezenta lucrare în finalizarea capitolului șase, secțiunea 6.3.

De asemenea, aș dori să-mi exprim mulțumirile deosebite profesorilor Radu BOGDAN, Prof. Valentin APOSTOL, Dr. Alexandru RACOVITZA și Dr. Horațiu POP care m-au susținut ori de câte ori am avut nevoie de ajutor. De asemenea, trebuie să mulțumesc facultății de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Universitatea Politehnică București

Îi mulțumesc guvernului irakian (Ministerul Învățământului Superior și Cercetării Științifice) pentru susținerea financiară

Aș dori să mulțumesc echipei de tehnologii avansate de simulare AVL pentru sprijinul semnificativ pe care mi l-au oferit în realizarea simulărilor

Le mulțumesc părinților mei (tatălui și mamei)

Aș dori să-mi exprim aprecierea față de colegii, frații și surorile mele care m-au susținut în decursul studiului meu

În cele din urmă, această cercetare nu ar fi fost posibilă dacă micuța mea familie nu m-ar fi susținut de-a lungul timpului. Soția mea, fiul și cele două fiice merită recunoștința mea pentru răbdarea și înțelegerea lor în toate acele momente când nu le-am acordat atenția și grija cuvenită.

Nomenclatură

Simbol	Definiție	Unit
P	Putere	(kW)
T	Cuplu	(Nm)
f	Fracțiune a căldurii eliberate din încărcătura cilindrului	(-)
s	Distanța pistonului în raport cu punctul mort interior	(mm)
r	Raza arborelui cotit	(mm)
l	Lungimea bielei	(mm)
s	Dezaxarea axului pistonului	(-)
a	Unghiul de rotație al arborelui cotit în raport cu punctul mort interior	(degree)
Q	Fluxul de căldură	(W/m ²)
A	Suprafață	(mm ²)
T	Temperatură	(K)
x	Cursa relativă (poziția actuala a pistonului în raport cu cursa completă)	(mm)
V	Volum	(mm ³)
D	Alezaj	(mm)
U_p	Viteza medie a pistonului	(m/s)
c_u	Viteză circumferențială	(m/s)
k	Densitatea locala a energiei cinetice turbulente	(m ² /s ²)
m	Masă	(kg)
LCV	Puterea calorică inferioară	(kJ/kg)
p	Presiune	(pa)

Acronime și abrevieri	
AFR	Dozaj aer combustibil
BDC	Punctul mort exterior
BMEP	Presiune medie indicată
BSFC	Consumul specific efectiv de combustibil
DI	Injecție directă
EGR	Recircularea gazelor de eșapament
EVC	Închiderea supapei de evacuare
EVO	Deschiderea supapei de evacuare
IMEP	Presiunea medie indicată
IVC	Închiderea supapei de admisie
IVO	Deschiderea supapei de admisie
IC	Ardere internă
IDI	Injecție indirectă
ID	Întârziere la autoaprindere
RPM	rotații pe minut
ROHR	Viteza de degajare a căldurii
SOI	Momentul de început al injecției
SOC	Momentul de început al arderii
TDC	Punctul mort interior

Simboluri chimice	
CO	Monoxid de carbon
CO ₂	Dioxid de carbon
NO	Oxid nitric
NO ₂	Dioxid de azot
NO _x	Oxizi de azot
UHC	Hidrocarburi nense
PM	Particule

Indici

Simbol	Definiție
<i>e</i>	Efectiv
<i>ev</i>	Evaporare
<i>w</i>	Perete
<i>i</i>	Chiulasa, piston
<i>c</i>	Gazul din cilindru
<i>L</i>	Cămașă piston
<i>F</i>	Vaporizat
<i>l</i>	Lichid
<i>a</i>	Aer
<i>n</i>	Duză

Introducere

Uleiul vegetal a fost folosit, pentru prima dată, drept combustibil pentru motoarele cu aprindere prin comprimare de către Rudolf Diesel, care a inventat motorul diesel în anii 1890. Mai târziu în cadrul expoziției din Paris (unul dintre noile motoare diesel prezentate) în anii 1900 a fost prezentat un motor alimentat cu ulei de arahide. Deoarece uleiul vegetal are o vâscozitate mai mare decât motorina pură (ar putea provoca daune motorului) și pentru că prețul combustibilului era mai scăzut la acel moment și în același timp acesta era ușor de obținut, combustibilul din uleiul vegetal a fost uitat. În anii 1930, a existat un interes în ceea ce privește hidroliza acizilor grași din glicerină în ulei vegetal pentru a produce combustibili cu o vâscozitate mai mică, similari cu motorina. Pentru a reduce vâscozitatea uleiului vegetal, în 1937, G. Chavanne, din Belgia, a folosit mai întâi un proces chimic numit transesterificare pentru a transforma uleiul vegetal (cu vâscozitate mai mare) într-un etil ester (biodiesel astăzi, cu vâscozitate mai mică). Din 1939 până în 1945 (în timpul celui de-al doilea război mondial), uleiurile vegetale au fost folosite drept combustibil pentru motoarele diesel de către mai multe țări, cum ar fi Brazilia, Argentina, China, India și Japonia, din cauza întreruperii aprovizionării cu combustibil petrolier.

Criza petrolului din anii 1970 a făcut ca multe țări din lume, cum ar fi Austria, Statele Unite, Africa de Sud și altele, să considere din nou uleiurile vegetale drept combustibil, deoarece combustibilul alternativ ar putea înlocui combustibilul diesel. După aceea, în 1985, prima fabrică de producere a biodieselului a fost deschisă special în Austria, la un colegiu agricol pentru producere de combustibili. Apoi, biodieselul a fost fabricat comercial în Uniunea Europeană din anul 1992. Astăzi, în întreaga lume, se produc mai mult de 6 miliarde de litri de biodiesel. În prezent, o atenție ridicată se îndreaptă spre biodiesel, folosit fie în stare pură fie în amestecuri cu motorină în motoarele cu aprindere prin comprimare, deoarece biodieselul este un combustibil oxigenat și regenerabil, fără sulf, nu conține hidrocarburi aromatice, este netoxic și biodegradabil (combustibil curat). Biodieselul este alcătuit din combustibili pe bază de metil sau etil esteri ai acizilor grași care sunt produși din grăsimi animale sau uleiuri vegetale printr-un proces chimic numit transesterificare. Cele mai comune amestecuri de biodiesel utilizate în prezent pe piață sunt B5 (amestec de biodiesel 5% cu motorină pură 95%). Biodieselul poate fi folosit în motoare diesel nemodificate și vândut drept combustibil obișnuit în majoritatea țărilor, dar acest amestec nu afectează prețul final al combustibilului. Statele Unite și Uniunea Europeană intenționează să utilizeze biodieselul B20 (20% din volumul de

biodiesel în motorină pură) drept combustibil obișnuit în stații de alimentare. Biodiesel B20 oferă un compromis bun între caracteristici precum costul, pornirea la rece, avantajele pentru mediu, compatibilitatea materialelor și stabilitatea temperaturii. Capitolele tezei sunt următoarele:

Capitolul 1, Introducere, introducerea generală privind avantajele și dezavantajele folosirii combustibilului biodiesel într-un motor diesel cât și obiectivul prezentului studiu și al tezei de doctorat sunt prezentate în acest capitol. Există multe motive pentru utilizarea combustibilului alternativ în motorul cu ardere internă. De exemplu, în ultimele două decenii, a existat o creștere a consumului de combustibil (combustibil fosil) în lume pentru aplicații zilnice, creșterea prețurilor combustibililor și problemele legate de mediu. Prin urmare, folosind acest tip de combustibil (combustibil alternativ), se poate contribui la reducerea emisiilor de CO, hidrocarburi nearchate (THC), dioxid de carbon (CO₂) și emisii de fum. În plus, există un alt motiv important ce motivează acest proiect, în unele țări (una dintre ele țara autorului), o parte din generarea de energie electrică depinde de generatoare private, astfel prin utilizarea biocombustibilului, s-ar reduce poluarea aerului ducând la salvarea de vieți.

Capitolul 2, Analiza documentară, studii anterioare au fost colectate și analizate în ceea ce privește utilizarea biodieselului din rapiță drept combustibil alternativ în motoarele diesel. Capitolul doi acoperă performanțele motorului, caracteristicile de ardere și emisiile de gaze de eșapament ale unui motor cu aprindere prin comprimare alimentat cu biodiesel și amestecurile sale. Un accent deosebit se pune pe uleiul de rapiță ca și combustibil alternativ, deoarece producția globală de rapiță a avut o creștere susținută în ultimele două decenii. Rezultatele cercetărilor arată că biodieselul de rapiță, fie pur fie amestecat cu Diesel, are o viteză de degajare a căldurii redusă, o întârziere la autoaprindere redusă, un randament efectiv redus și un consum mai mare de combustibil. Emisiile de gaze poluante, respectiv de monoxid de carbon (CO) și particule (PM) sunt cu până la 60% mai scăzute, în timp ce emisiile de dioxid de carbon (CO₂) și oxizii de azot (NO_x) sunt mai mari în comparație cu combustibilul motorină. Acest comportament este explicat prin întârzierea la autoaprindere mai scurtă și prin injecția avansată de combustibil atunci când se utilizează uleiul de rapiță.

Capitolul 3, Studiu experimental al efectului motorinei și biodieselului b20 asupra performanțelor, caracteristicilor arderii și emisiilor poluante, în acest capitol al tezei s-a studiat experimental efectul motorinei pure și a biodieselului B20 asupra performanțelor motorului, caracteristicile arderii și emisiile de gaze poluante la diferite turații ale motorului (1000 rpm până la 2400 rpm, cu incremente 200 de rpm). Un motor diesel, cu patru cilindri în patru timpi, conectat la un dinamometru a fost utilizat în acest studiu. În plus, efectul îmbogățirii motorinei pure și a biodieselului B20 cu hidrogen utilizând diferite fracțiuni volumetrice (0-5%) asupra emisiilor și caracteristicilor de ardere la turația motorului 1400 rpm (cuplu maxim) și 2400 rpm (putere maximă) de asemenea, sunt studiate experimental. Rezultatele experimentale au fost colectate și împărțite în două grupe: în primul rând, rezultatele legate de performanța motorului, caracteristicile arderii și emisiile poluante specifice combustibililor motorină și biodiesel B20. Al doilea grup de rezultate privind emisiile poluante și caracteristicile arderii specifice combustibililor motorina și biodiesel B20 îmbogății cu hidrogen la fracțiuni volumetrice diferite (0 până la 5%). Rezultatele au arătat că viteza de degajare a căldurii este mai scăzută pentru biodieselul B20 datorită valorii scăzute a puterii calorifice. Utilizând biodieselul B20 s-a obținut o putere efectivă mai mică și un cuplu efectiv mai mic cu până la 4%. Se constată că BSFC este mai mare pentru B20 la toate turațiile motorului în comparație cu motorina datorită faptului că biodieselul are putere calorifică mai scăzută decât cea a motorinei. O ușoară creștere a emisiilor de NO_x a fost observată la utilizarea combustibilului B20 la toate turațiile motorului. În ceea ce privește emisiile, CO, FSN și UHC acestea s-au redus cu până la 35%, în timp ce emisiile de NO_x a crescut ușor.

Chapter 4, Investigația formării amestecului într-un motor diesel alimentat cu motorină pură și biodiesel B20, în acest capitol, o investigație experimentală și numerică privind formarea amestecului într-un motor diesel alimentat cu motorină pură și biodiesel B20 la turația de 1400 rpm (cuplul maxim) și de 2400 rpm (putere maximă). În acest scop, a fost elaborat un model numeric prin utilizarea codului AVL HYDSIM. Rezultatele modelului au fost comparate cu cele experimentale în ceea ce privește presiunea în cilindru și ridicarea acului injectorului pentru a examina utilitatea modelului. Modulul volumetric mai mare ca și densitatea și vâscozitatea ridicată la biodieselul B20 au dus la creșterea diametrului mediu Sauter și a presiunii în linie, în timp ce unghiul de dispersie a conului jetului a fost scăzut comparativ cu motorina. Penetrația jetului mai mare a fost observată pentru biodieselul B20, ceea ce a dus la o creștere a șanselor de atingere a peretelui cilindrului și, prin urmare, la creșterea formării de NO_x. Acest model a prezis formarea

amestecului în concordanță cu datele experimentale legate de ridicarea acului și presiunea în cilindru cu o abatere maximă mai mică de 5%. Astfel putem spune despre codul AVL HYDSIM că ar putea fi un instrument potrivit pentru a prezice modelele de dezvoltare a jetului în situația utilizării biodieselului.

Capitolul 5, Investigație asupra caracteristicilor procesului de ardere ale unui motor diesel alimentat cu motorină și biodiesel b20, efectul motorinei și al biodieselului B20 asupra caracteristicilor procesului de ardere al unui motor diesel la viteze diferite (1000 rpm până la 2400 rpm, incremente de 200 rpm), în condiții de funcționare la sarcină maximă, au fost investigate numeric și prezentate în capitolul actual. În acest scop, a fost elaborat un model numeric. Rezultatele acestui model au fost validate în raport cu datele experimentale. Rezultatele au arătat că există variații ale caracteristicilor de ardere între motorină și biodiesel B20. Acest model a prezis caracteristicile de performanță ale motorului și emisiile poluante într-o bună corelație cu datele experimentale cu erori relative mai mici de 4%. Prin urmare, s-a concluzionat că acest model ar putea fi utilizat pentru predicția caracteristicilor de performanță ale motorului cu aprindere prin comprimare alimentat cu amestecuri diferite de combustibil biodiesel. Rezultatele simulării indică faptul că durata de ardere și întârzierea la autoaprindere a biodieselului B20 au fost mai scurte decât cele ale motorinei pure. Biodieselul B20 produce o presiune maximă scăzută, o temperatură maximă scăzută și un coeficient mai mic de transfer de căldură decât cele furnizate de motorina pură.

Capitolul 6, perioada de întârziere la autoaprindere a unui motor cu aprindere prin comprimare alimentat cu motorină și biodiesel b20, acest capitol tratează perioada de întârziere la autoaprindere pentru un motor cu aprindere prin comprimare alimentat alternativ cu motorină pură și cu biodiesel B20, investigată experimental și numeric. Motorul a funcționat în condiții de sarcină maximă pentru două viteze, viteză de 1400 rpm pentru cuplul maxim și viteză de 2400 rpm pentru putere maximă. Diferiți parametri sugerați ca fiind importanți pentru definirea începutului arderii au fost luați în considerare înainte de acceptarea unei anumite metodologii de evaluare a întârzierii la autoaprindere. S-au analizat corelațiile dintre acești parametri și s-a concluzionat despre cea mai bună metodă de identificare a începutului arderii. Rezultatele experimentale au fost comparate în continuare cu întârzierea la autoaprindere determinată prin unele corelații. Rezultatele au arătat că întârzierile la autoaprindere aprindere determinate sunt în acord cu cele ale expresiilor de tip Arrhenius pentru motorină pură, în timp ce pentru biodieselul B20 rezultatele corelației sunt semnificativ diferite de rezultatele experimentale.

Capitolul 7, Concluzii, se prezintă principalele constatări, contribuții inițiale și activitatea viitoare, concluziile principale fiind următoarele:

- (i) O distanță mai mare de penetrație a fost obținută pentru biodiesel B20, rezultând o probabilitate mai mare atingere a peretelui cilindrului ce duce în consecință la creșterea emisiilor de NO_x.
- (ii) Un modul volumetric mai mare cât și o densitate și vâscozitate ridicată pentru biodiesel B20 au dus la mărirea diametrului mediu Sauter SMD și o presiune în conducta de injecție mai mare cu 4% având în același timp un unghi de dispersie a conului jetului diminuat în comparație cu motorina pură.
- (iii) Conținutul ridicat de oxigen, respectiv 10-12% , al biodieselului B20 îmbunătățește arderea rezultând o reducere a emisiilor de CO, THC și fum, având însă o creștere a emisiilor de NO_x.
- (iv) Consumul specific efectiv de combustibil (BSFC) a fost mai mare la biodiesel B20, în condițiile normale de funcționare, datorită puterii calorifice mai mici a biodieselului B20 în comparație cu motorina pură .
- (v) Puterea efectivă și cuplul efectiv au fost sensibil mai mici la biodiesel B20 în comparație cu motorina pură.
- (vi) Biodieselul B20 are o întârziere la autoaprindere mai mică cât și o durată a arderii mai mică în condițiile normale de funcționare în comparație cu motorina pură .
- (vii) Biodieselul B20 produce o presiune maximă scăzută și temperatură maximă scăzută decât cele obținute utilizând motorină pură.
- (viii) În condițiile normale de funcționare, hidrogenul adăugat motorinei pure și biodieselului B20 îmbunătățește arderea ce duce la reducerea emisiilor totale de hidrocarburi nearchiv THC și a emisiilor de fum. În ceea ce privește emisiile de NO_x, acestea au fost mai mici la turații mici, la turații mari hidrogenul neavând un efect sesizabil.
- (ix) Adăția de hidrogen în cantități mici modifică emisiile poluante ale motorului probabil datorită interacțiunilor subtile în cursul dezvoltării arderii după autoaprinderea neschimbată a combustibililor de bază (motorină pură sau biodiesel B20). Începutul arderii a rămas neschimbat pentru motorină pură respectiv biodiesel B20 fără un efect semnificativ în cazul adăției de hidrogen..
- (x) Rezultatele modelării numerice la diferite turații ale motorului și diferiții combustibili utilizați au fost într-o bună corelație cu rezultatele experimentale, astfel putând concluziona ca simulările numerice dezvoltate utilizând instrumente complexe s-au

dovedit a fi de încredere și adecvate pentru obiectivele propuse. Erorile maxime relative între rezultatele modelului numeric și datele experimentale au fost mai mici de 4%. Astfel se poate concluziona că acest model poate fi utilizat în estimarea caracteristicilor de performanță ale unui motor cu aprindere prin comprimare alimentat cu diferite amestecuri de biodiesel.

- (xi) În ceea ce privește motorina pură, corelația propusă de Assanis [133] pentru determinarea întârzierii la autoaprindere pare a fi cea mai apropiată de datele experimentale atât pentru motorul analizat cât și pentru condițiile normale de funcționare cu deviații relative de sub 15%.
- (xii) Corelația propusă de El- Kasaby [57] pentru estimarea întârzierii la autoaprindere pentru biodiesel B20 este diferită față de rezultatele obținute experimental.
- (xiii) Biodieselul B20, ca și combustibil alternativ, ar putea duce la reducerea poluării aerului în cazul utilizării motoarelor Diesel.
- (xiv) Biodieselul B20 poate fi folosit în motoarele cu aprindere prin comprimare fără modificări majore ale acestora.
- (xv) Biodieselul B20 ar putea substitui motorina pură și ar putea fi comercializat ca și combustibil uzual.

Contribuțiile personale

1. Îmbunătățirea standului de testare al motorului în ceea ce privește utilizarea biodieselului
2. Conceperea unui model numeric utilizând AVL-HYDSIM cu scopul studierii efectului biodieselului asupra formării amestecului într-un motor diesel în condițiile diverse de funcționare.
3. Conceperea unui model numeric utilizând AVL-Boost cu scopul studierii efectului biodieselului asupra performanțelor motorului în condițiile diverse de funcționare.
4. Programul AVL Boost conține proprietățile combustibililor: Benzină, Motorină, Metan, Etanol, Hidrogen și Butan, proprietățile specifice combustibilului biodiesel B20 necesitând inserarea manuală a autorului.
5. Doisprezece articole au fost publicate cu scopul de a susține obiectivele actualei teze, în diferite jurnale de specialitate și conferințe cum se poate adevăra din anexa D, fiind împărțite în următoarea formă:

- Patru articole au fost publicate în jurnalul ISI, unul fiind publicat în Renewable and Sustainable Energy Reviews (ELSEVIER) cu impact factor de 8.050, unul dintre acestea fiind publicat în International Journal of Hydrogen (ELSEVIER) cu impact factor de 3.582.
- Celelalte opt articole au fost publicate în diferite alte jurnale și prezentate în conferințe internaționale.

Sugestii pentru cercetări viitoare

Dacă vor fi implementate, următoarele sugestii vor aduce informații adiționale asupra efectului biodiesel B20 asupra caracteristicilor arderii, emisiilor poluante și depunerilor în motor.

- (i) Investigații amănunțite asupra procesului de ardere ar furniza informații despre efectul biodieselului B20 asupra perioadei de întârziere la autoaprindere, de început al arderii, de durată a arderii și al formării emisiilor de NO_x cu scopul îmbunătățirii performanțelor motorului și reducerea emisiilor poluante..
- (ii) Depunerile pe componentele motorului trebuie luate în considerare în viitoarele studii. Acest aspect este important fiindcă va furniza informații în ceea ce privește efectul biodieselului asupra componentelor motorului în cazul folosirii acestuia pentru un interval îndelungat de timp

Bibliografie

- [1] Subhash L, Subramanian K. Effect of different percentages of biodiesel–diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine. Fuel; 2015:139 537-545.
- [2] Zhang J, Jing W, Roberts W, Fang T. Effects of ambient oxygen concentration on biodiesel and diesel spray combustion under simulated engine conditions. Energy 2013; 57:722-732.
- [3] Qi D, Chen H, Geng L, Bian Y. Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine. Renewable Energy 2011; 36: 1252-1258.
- [30] Naik S, Goud V, Rout P, Dalai A. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010; 14:578-597.
- [31] Mofijur M, Atabani A, Masjuki H, Kalam M, Masum B. A study on the effects of promising edible and non-edible biodiesel feedstock on engine performance and emissions production: A comparative evaluation. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013; 23:391-404.
- [32] Khalid A, Syamim M, Mustafa N, Sapit A, Zaman I, Manshoor B, Samion S. Experimental Investigations on the use of preheated Biodiesel as fuel in various load conditions of Diesel engine. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2014; 8:423-430.
- [33] Subhash L, Subramanian K. Impact of nozzle holes' configuration on fuel spray, wall impingement and NO_x emission of a Diesel engine for biodiesel Diesel blend (B20). Applied Thermal Engineering 2014; 64 :307-314.

- [50] Rakopoulos D. Heat release analysis of combustion in heavy-duty turbocharged Diesel engine operating on blends of Diesel fuel with cottonseed or sunflower oils and their biodiesel. *Fuel* 2012;96: 524-534.
- [84] Jeong G, Park D, Yu E, Kang C, Kim S. Combustion profile of biodiesel manufactured from rapeseed oil in Diesel engine. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2005; 27: 5-37.
- [85] Millo F, Debnath BK, Vlachos T, Ciaravino C, Postriotti L, Buitoni G. Effects of different biofuels blends on performance and emissions of an automotive Diesel engine. *Fuel* 2015; 159: 614-627.
- [94] Pinzi S, Rounce P, Herreros J, Tsolakis A, Dorado M. The effect of biodiesel fatty acid composition on combustion and Diesel engine exhaust emissions. *Fuel* 2013; 104:170-182.
- [95] Vojtisek M, Czerwinski J, Lenicek J, Sekyra M, Topinka J. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in exhaust emissions from Diesel engines powered by rapeseed oil methyl ester and heated non-esterified rapeseed oil. *Atmospheric Environment* 2012; 60:253-261.
- [136] Karagoz Y, Sandalci T, Yuksek L, Dalkilic A. Engine performance and emission effects of diesel burns enriched by hydrogen on different engine loads. *International Journal Hydrogen Energy* 2015; 40:6702-13.
- [137] Baltacioglu M, Arat H, Ozcanli M, Aydin K. Experimental comparison of pure hydrogen and HHO (hydroxy) enriched biodiesel (B10) fuel in a commercial diesel engine. *International Journal Hydrogen Energy* 2016; 41:8347-53.