

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

Combustibili alternativi în motoarele cu ardere internă

Doctorand,

Chivu Robert-Mădălin

Conducător științific,

Prof univ. dr. ing. Florin Popescu

Prof univ. dr. ing. Jorge Martins

Seria I 6 Nr. 79

GALAȚI

2024

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

COMBUSTIBILI ALTERNATIVI ÎN MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ

Doctorand

Chivu Robert-Mădălin

Președinte	Prof univ.dr.ing. habil. Mihaela Buciumeanu Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Conducător științific,	Prof univ.dr.ing. Florin Popescu Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Conducător științific în cotutelă	Prof univ.dr.ing. Jorge Martins Universitatea Minho Guimaraes, Portugalia
Referenți științifici	Prof univ.dr.ing. Ispas Nicolae Universitatea Transilvania din Brașov
	Prof univ.dr.ing. habil. Nicolae Viorel Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București
	Conf. dr. Ing. Uzuneanu Krisztina Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Seria I 6 Nr. 79

GALAȚI

2024

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul fundamental ȘTIINȚE INGINERESTI

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria E 3: **Marketing**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**
- Seria SJ: **Drept**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**
- Seria F: **Farmacie**

Mulumiri

Doresc să îmi exprim recunoștința profundă tuturor celor care m-au sprijinit pe parcursul anilor de doctorat.

În primul rând, mulțumirile mele se îndreaptă către îndrumătorul meu de doctorat, domnul profesor Florin Popescu, pentru îndrumarea, răbdarea și susținerea continuă pe care mi le-a oferit. Fără expertiza și sfaturile sale valoroase, acest proiect nu ar fi fost posibil. Domnule profesor, vă mulțumesc din suflet pentru că ați crezut în mine și m-ați ghidat pe parcursul acestei călătorii academice.

De asemenea, mulțumesc profesorului Jorge Martins din Portugalia, cel de-al doilea coordonator științific, pentru contribuțiile sale esențiale și sprijinul necondiționat. Aprecierea mea sinceră se îndreaptă către domnia sa pentru colaborarea fructuoasă și perspectivele valoroase oferite.

Un gând special de recunoștință merge către profesorul Francisco Brito pentru ajutorul neîncetat și susținerea sa acordată în laboratorul de motoare al Universității Minho din Portugalia. Ați fost mereu o sursă de inspirație și un sprijin constant în momentele dificile.

De asemenea, doresc să mulțumesc doamnei profesor Uzuneanu Krisztina pentru susținerea morală și științifică. Încurajările și sfaturile dumneavoastră mi-au oferit motivația necesară pentru a merge mai departe.

Mulțumirile mele se îndreaptă și către domnul profesor Eugen Rusu, directorul școlii doctorale, pentru motivație și încurajare. Sprijinul și cuvintele dumneavoastră de încurajare au fost esențiale în parcurgerea acestui drum.

De asemenea, mulțumesc echipei mobilității Erasmus de la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați pentru implicarea lor. Fără sprijinul și eforturile voastre, experiențele internaționale care au îmbogățit această cercetare nu ar fi fost posibile.

Nu în ultimul rând, mulțumesc membrilor comisiei mele de îndrumare și membrilor comisiei de evaluare pentru feedback-ul constructiv și sprijinul lor. Contribuțiile fiecăruia dintre voi au avut un impact semnificativ asupra evoluției mele academice.

Cu recunoștință, Robert-Mădălin Chivu
Galați, Iunie 2024

Cuprins

Mulumiri.....	4
Introducere	7
Capitolul 1. Revizuirea Literaturii	9
1.1 Motoare cu ardere internă.....	9
1.2 Combustibili utilizați în motoarele cu ardere internă	9
1.3 Abordari privind utilizarea biocombustibililor in motoarele cu ardere interna.....	9
1.4 Costul Biocombustibililor	10
1.5 Introducerea biocombustibililor in motoarele cu ardere interna.....	10
1.6 Atomizarea combustibilului.....	10
1.7 Impactul amestecurilor de biocombustibil si motorină asupra performanțelor motorului cu aprindere prin comprimare.	11
1.8 Impactul biocombustibililor asupra emisiilor poluante	15
1.9 Motoare navale în doi timpi	17
1.10 Folosirea pe termen lung a biocombustibililor.....	18
Capitolul 2. Metodologia de Cercetare. Parte experimentală	20
2.1 Standul experimental	20
2.2 Senzori și actuatoare	21
2.2.2 Senzor de masurare a debitului de fluid aflat pe galeria de admisie.....	23
2.2.3 Senzorul de măsurare a presiunii absolute din galeria de admisie.....	23
2.2.4 Senzori de temperatură	24
2.2.5 Senzor pentru masurarea momentului motor tip celulă S.....	26
2.2.6 Senzorul de presiune din rampa comună de combustibil	26
2.2.7 Senzorul pedalei de accelerație.....	26
2.2.8 Actuatoare (injectorul de combustibil)	27
2.3 Sistemul de supraalimentare.....	29
2.4 Sistemul de înaltă presiune a combustibilului cu rampă comună.....	30
2.5 Sistem de diagnosticare și programare al unității de comandă (ECU)	31
2.6 Frâna electromecanică.....	31
2.7 Măsurarea emisiilor poluante cu ajutorul analizorului de gaze și a opacimetrului	32
2.8 Sistemul de achiziții de date.....	33
2.8.1 Placa de achiziții de date National Instruments.....	33
2.8.2 Măsurarea consumului de combustibil	34
2.9 Prepararea amestecurilor de combustibil	35

2.10 Rezultate experimentale	36
2.10.1 Performanțele motorului	37
2.10.2 Emisiile poluante ale motorului	40
Capitolul 3. Modelare numerică. Simularea motorului cu ardere internă zero-dimensională	45
3.1 Clasificarea modelelor de simulare	45
3.2 Model unizonal.....	45
3.3 Modelarea energiei interne.....	47
3.4 Modelarea arderii	48
3.5 Aplicativitatea modelelor de ardere	49
3.6 Pierderile de căldură prin pereți	50
3.7 Lucrul mecanic.....	52
3.8 Fluxul de entalpie.....	52
3.9 Simularea computerizată, validarea modelului și analiza erorilor.....	53
Capitolul 4. Concluzii și contribuții personale.....	62
4.1 Concluzii finale.....	62
4.2 Contribuții personale	62
4.3 Limitările studiului	64
Capitolul 5. Direcții viitoare de cercetare.....	65
Lista publicațiilor	66
Bibliografie selectivă	67
Anexe	71
Anexa 1	71
Anexa 2	72

Introducere

a. Context și justificare

În epoca contemporană, presiunile asupra sistemelor energetice tradiționale și îngrijorările crescânde privind schimbările climatice impun o reevaluare esențială a paradigmei energetice. Domeniul transporturilor, în special cel al vehiculelor cu ardere internă, se află în centrul acestei revoluții iminente, cu necesitatea imperativă de a adopta soluții durabile și eficiente energetic. Teza de față, dedicată studiului "Combustibililor Alternativi în Motoarele cu Ardere Internă," reprezintă un angajament ferm pentru explorarea și înțelegerea complexității acestei tranziții cruciale. De-a lungul istoriei, combustibilii fosili au fost coloana vertebrală a propulsiei vehiculelor, însă recunoașterea consecințelor ecologice ale acestei dependențe a generat o căutare intensificată pentru surse de energie alternative și sustenabile. Teza prezintă se angajează într-un efort sistematic și detaliat de evaluare și a utilizării combustibililor alternativi în cadrul motoarelor cu ardere internă. Această alegere de focalizare derivă din convingerea că motoarele cu ardere internă rămân elemente cheie în panorama transportului și a sistemelor de propulsie, iar adoptarea de combustibili alternativi în aceste contexte implică o gamă complexă de considerații tehnologice, economice și ecologice. Obiectivul primordial al tezei constă în a investiga modul în care combustibilii alternativi influențează performanța motoarelor cu ardere internă, cuprinzând aspecte precum eficiența energetică, emisiile de poluare și adaptabilitatea la infrastructurile existente.

Obiectivele Cercetării:

Analiza Performanțelor Tehnice: Investigarea detaliată a modului în care combustibilii alternativi afectează performanța tehnică a motoarelor cu ardere internă, inclusiv aspecte precum eficiența energetică, puterea motorului și caracteristicile de rulare.

Evaluarea Emisiilor: Cu accent asupra durabilității mediului înconjurător, vom evalua impactul utilizării combustibililor alternativi asupra emisiilor provenite din procesul de ardere în motoarele cu ardere internă, explorând opțiuni care minimizează poluarea atmosferică.

Prin abordarea riguroasă și interdisciplinară a acestor obiective, această cercetare își propune să ofere nu doar o înțelegere mai profundă a utilizării combustibililor alternativi în contextul motoarelor cu ardere internă, ci și să ofere orientări practice pentru industria auto și pentru elaborarea politicilor publice în vederea unei mobilități sustenabile. Prin atingerea acestor obiective, ne dorim să contribuim la un cadru comprehensiv și aplicabil care să încurajeze tranziția eficientă și durabilă către combustibilii alternativi în sectorul transporturilor.

c. Relevanța și impactul potențial al studiului

Introducerea acestei teze de doctorat dedicată utilizării combustibililor alternativi în motoarele cu ardere internă se conturează în lumina unei necesități imperative în contextul actual al schimbărilor climatice și al dependenței persistente de resurse fosile. Această cercetare își propune să ofere o contribuție semnificativă la dezvoltarea durabilă, înnoind și redefinind paradigma energiei în cadrul sistemelor de propulsie auto. Prin investigații exhaustive și analize interdisciplinare, se urmărește să se aducă lumină asupra complexității implicate în integrarea eficientă a combustibililor alternativi și să se contureze calea către o mobilitate viitoare cu impact redus asupra mediului înconjurător.

Relevanța studiului:

Într-un peisaj global caracterizat de tot mai intensele presiuni ecologice și o imperioasă necesitate de a limita emisiile de gaze cu efect de seră, investigația asupra utilizării combustibililor

alternativi în motoarele cu ardere internă devine un pilon fundamental în abordarea schimbărilor climatice și în orientarea către un viitor durabil. Într-adevăr, pe măsură ce societatea se confruntă cu consecințele nefaste ale dependenței masive de combustibilii fosili, de la încălzirea globală până la epuizarea resurselor naturale, impunerea unei reorientări urgente către surse de energie sustenabile și inovatoare devine nu doar necesară, ci imperativă.

Impactul Potențial al Studiului:

Prin demersul ambițios de a aborda utilizarea combustibililor alternativi în motoarele cu ardere internă, această cercetare își propune să exercite o influență semnificativă și tangibilă în multiple domenii critice.

Perspectivă Ecologică: În primul rând, din perspectiva ecologică, se anticipează că rezultatele obținute vor constitui un pilon central în eforturile de reducere a amprentei de carbon asociate transportului auto. Identificarea și promovarea celor mai eficiente și sustenabile surse de combustibil au potențialul de a reconfigura fundamental modul în care autovehiculele contribuie la schimbările climatice.

Impact Social: Impactul social al tranziției către combustibili alternativi este o dimensiune cu implicații deosebit de profunde. Înțelegerea modului în care consumatorii reacționează la aceste inovații tehnologice și procesul lor de adaptare la noile paradigme ale mobilității sunt aspecte cruciale.

În concluzie, relevanța și impactul potențial al acestei cercetări transcend granițele academice, prezentându-se ca un pilon cheie în direcționarea către o mobilitate sustenabilă și în facilitarea unei utilizări responsabile a resurselor energetice. Această teză nu doar explorează teoretic combustibilii alternativi, ci reprezintă, în esență, un catalizator pentru schimbarea palpabilă în direcția unei transformări durabile a industriei auto și a modelului nostru de mobilitate.

Capitolul 1. Revizuirea Literaturii

1.1 Motoare cu ardere internă

Motorul cu ardere internă cu piston este un dispozitiv de inginerie termică ce realizează conversia energiei termice, provenite din procesul de ardere a combustibilului, în energie mecanică.

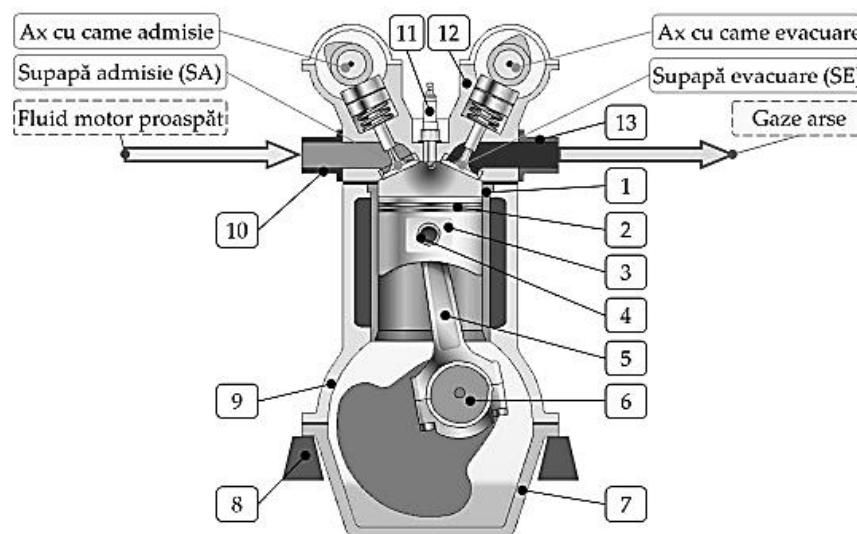


Figure 1 Schema unui motor cu aprindere internă, adaptat după [2]

1.2 Combustibili utilizați în motoarele cu ardere internă

În motoarele cu ardere internă, o varietate de combustibili convenționali sunt utilizați pentru a genera energie termică necesară pentru propulsie. Acești combustibili sunt selectați în funcție de caracteristicile lor de ardere, disponibilitate, costuri și impactul asupra mediului. În general, combustibilii convenționali pot fi clasificați în următoarele categorii principale:

- Benzină
- Motorină (diesel)
- Gaz natural: Gazul natural este format în principal din metan și alte hidrocarburi gazoase și este utilizat ca și combustibil în anumite tipuri de motoare, precum cele pe gaz natural comprimat (CNG) sau cele pe gaz petrol lichefiat (GPL). Este considerat un combustibil mai curat decât benzină sau motorină, deoarece produce mai puține emisii de dioxid de carbon și particule în timpul arderii.
- Propan și butan

1.3 Abordări privind utilizarea biocombustibililor în motoarele cu ardere internă

Capitolul următor examinează abordările privind utilizarea biocombustibililor în motoarele cu ardere internă, focalizându-se pe evoluția și începuturile utilizării acestor combustibili sustenabili. Biocombustibilii reprezintă o componentă cheie în eforturile de tranziție către surse de energie mai durabile și mai prietenoase cu mediul înconjurător. De-a lungul istoriei, utilizarea biocombustibililor în motoarele cu ardere internă a fost influențată de numeroși factori, inclusiv dezvoltările tehnologice, schimbările politice și economice și preocupările legate de mediul înconjurător [1]. Începuturile utilizării biocombustibililor în motoarele cu ardere internă pot fi

urmărite în contextul primei Revoluții Industriale, când utilizarea petrolului și a gazelor naturale în motoarele cu aburi a avut un impact semnificativ asupra economiei și societății [2].

1.4 Costul Biocombustibililor

Costul de producție al biocombustibilului, în comparație cu cel al motorinei, constituie un subiect de interes și dezbateră prominent în domeniul energetic. Biocombustibilii, proveniți din surse organice precum culturile agricole, algele sau deșeurile, reprezintă o alternativă regenerabilă la combustibilii fosili, cum ar fi motorina. Cu toate acestea, procesele complexe implicate în extracția, conversia și rafinarea lor aduc adesea costuri de producție mai mari decât cele asociate cu motorina tradițională [3], [4][5], [6][7]. Mai mulți factori influențează costul de producție al biocombustibililor, inclusiv tipurile de materii prime utilizate, tehnologiile aplicate pentru conversie și amploarea producției. De exemplu, biocarburanții obținuți din culturi alimentare, cum ar fi porumbul sau boabele de soia, pot fi afectați de fluctuațiile prețurilor pe piețele alimentare, ceea ce poate conduce la variații semnificative ale costurilor totale de producție. În contrast, biocombustibilii avansați, produși din surse nealimentare, cum ar fi algele sau reziduurile agricole, oferă alternative mai durabile, dar pot implica costuri de prelucrare mai ridicate din cauza tehnologiilor lor mai puțin mature și a economiilor de scară mai mici. Producția de motorină, pe de altă parte, implică în principal procese de extracție și rafinare aplicate țițeiului, care beneficiază de o infrastructură bine stabilită și de economii de scară. Totuși, costul de producție al motorinei este susceptibil la fluctuațiile prețurilor țițeiului și la factorii geopolitici, ceea ce îl face vulnerabil la volatilitatea pieței [8][9].

1.5 Introducerea biocombustibililor in motoarele cu ardere interna

Amestecarea biocombustibilului cu combustibilul convențional: Această metodă implică amestecarea biocombustibilului, cum ar fi biodieselul (pentru motoare cu aprindere prin comprimare) sau bioetanolul (pentru motoarele cu aprindere prin scanteie), cu combustibilul convențional, cum ar fi motorina sau benzina. Amestecarea poate fi realizată în proporții variabile, în funcție de cerințele specifice ale motorului și de compatibilitatea combustibililor. Prin utilizarea acestei tehnici, biocombustibilul poate fi integrat în mod treptat în sistemele de alimentare existente, fără a necesita modificări semnificative ale motorului sau ale infrastructurii de distribuție a combustibilului. Cu toate acestea, este important să se ia în considerare efectele asupra performanței și emisiilor motorului, precum și compatibilitatea materialelor cu amestecul de combustibili [10], [11], [12], [13], [14], [15].

Există mai multe tipuri de biocombustibili, iar acestea pot fi clasificate în funcție de materia primă din care sunt obținuți și de procesul tehnologic folosit pentru producerea lor. În general, biocombustibilii pot fi împărțiți în trei categorii principale:

- Biocombustibili lichizi
- Biocombustibili solizi
- Biocombustibili gazoși

1.6 Atomizarea combustibilului

Fragmentarea combustibilului în camera de ardere reprezintă un aspect crucial al procesului de ardere într-o diversitate de aplicații, printre care se numără centralele termice, motoarele cu ardere internă, cuptoarele industriale și multe altele. Atomizarea transformă combustibilul, fie lichid sau solid, în picături fine sau particule mici, măbind astfel suprafața totală a combustibilului expus la mediul oxidant, de obicei aerul.

1.7 Impactul amestecurilor de biocombustibil și motorină asupra performanțelor motorului cu aprindere prin comprimare.

Cercetătorii au examinat performanța motorului cu amestecuri de ulei de jatropha și terebentină minerală, combinat cu motorină. Rezultatele Figure 2 arată că amestecul JMT50 are o eficiență apropiată de motorină, dar puterea calorică mai mică a uleiului de jatropha duce la o eficiență termică mai mică și o creștere a consumului specific de combustibil. Deși oxigenul îmbunătățește arderea, vâscozitatea și volatilitatea uleiului de jatropha contribuie la caracteristici de ardere mai slabe [16].

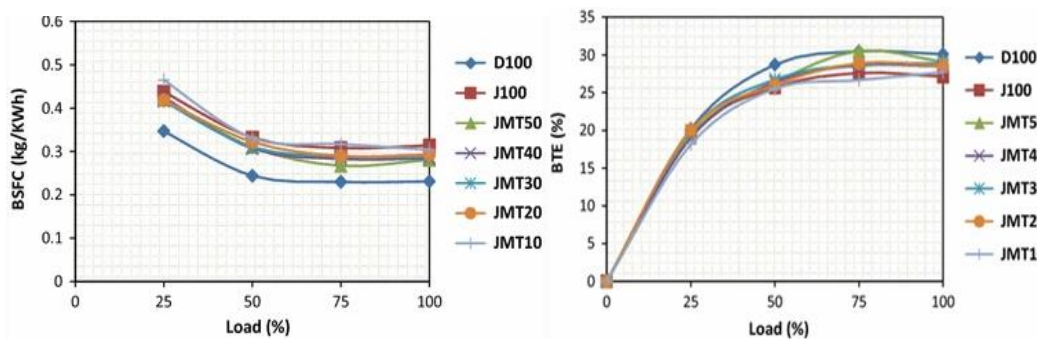


Figure 2 Parametri de performanță, adaptat după [16]

Într-un alt experiment [17], cercetătorii au evaluat performanța unui motor cu un singur cilindru în patru timpi folosind un amestec de biodiesel de jatropha și ulei de terebentină. Au testat cinci amestecuri diferite, variind de la 10% la 50% ulei de terebentină, restul fiind biodiesel de jatropha. Motorul a funcționat la o turație constantă de 1500 RPM, iar amestecurile au fost injectate la o presiune de 200 bar, presiunea de injecție fiind relativ mică pentru un motor de generație nouă. Rezultatele au arătat că BSFC a crescut odată cu creșterea proporției de ulei de jatropha în amestec, datorită puterii calorice inferioare față de combustibilul de referință. Parametrii de performanță, cum ar fi BSFC, BTE, presiunea cilindrului și întârzierea la aprindere, au fost măsurați și analizați. Potrivit concluziilor autorilor, se constată că BSFC a înregistrat valori mai reduse, până la 75% din sarcina motorului Figure 3 a), iar BTE a fost îmbunătățit în cazul utilizării amestecurilor de combustibil în comparație cu motorina standard, în aceeași gamă de sarcină. Cu toate acestea, eficiența termică a scăzut după ce sarcina motorului a depășit 75%, din cauza fenomenului de detonare. De asemenea, eficiența volumetrică a fost inferioară combustibilului de referință, deoarece terebentina, un compus volatil, a fost introdusă în galeria de admisie

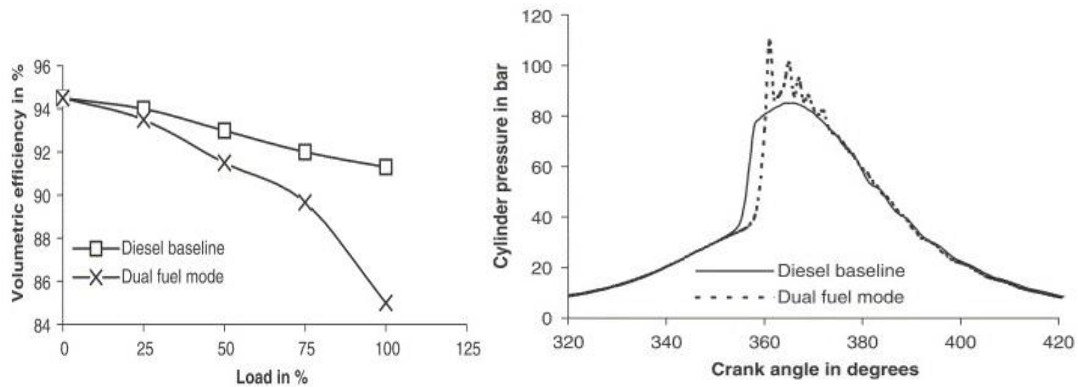
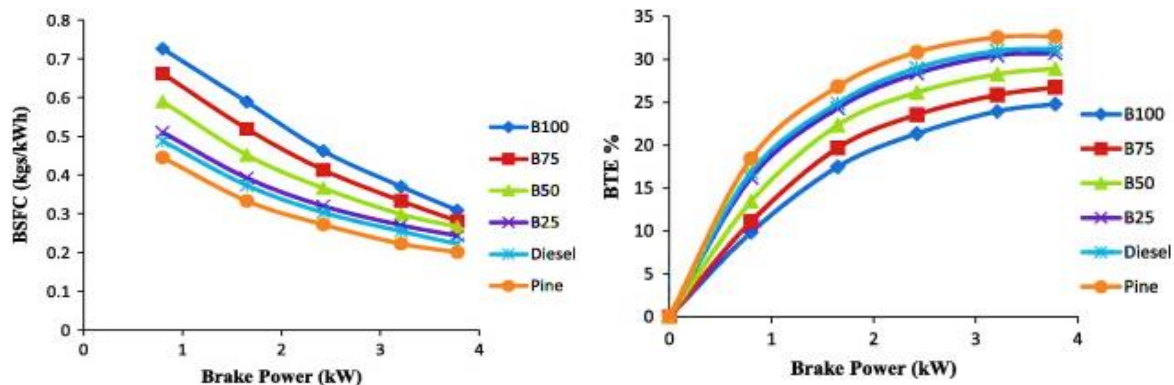


Figure 3 Eficiența volumetrică și presiunea în cilindru, adaptat după [62]

a)

b)

Într-un alt studiu [18], s-au efectuat experimente pentru a evalua amestecurile de terebentină și *Chlorella Vulgaris* [19], [20], [21] ca biocombustibili. Diverse combinații de combustibili au fost elaborate, însă s-a constatat că amestecul C50T50 a evidențiat cea mai bună performanță. Conform constatărilor autorilor, amestecul C50T50 a demonstrat o accelerare mai rapidă a ratei de eliberare a căldurii (HRR) în comparație cu combustibilul convențional.



a)

b)

Figure 4 Consumul specific de combustibil și eficiența termică, adaptat după [22]

Comparativ cu motorina și alți combustibili testați de autori, uleiul de pin are o structură moleculară mai complexă și o volatilitate diferită, ceea ce permite o arsură mai completă și mai eficientă. Astfel, în timpul arderii, energia termică eliberată de uleiul de pin Figure 5 este convertită într-un volum mai mare de gaze care exercită presiune asupra pistonului în cilindru.

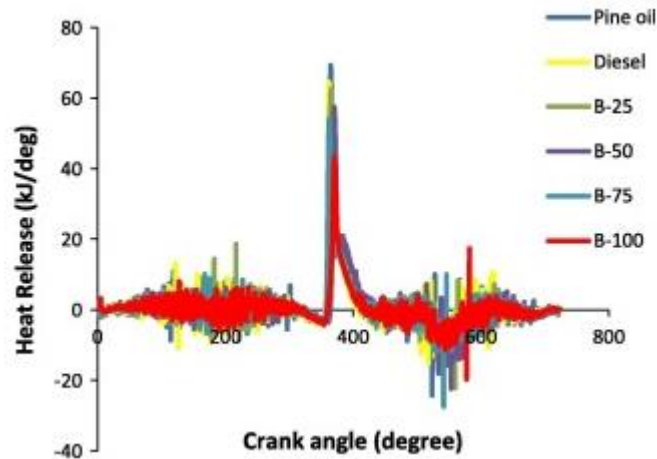


Figure 5 Rata de eliberare a căldurii, adaptat după [22]

Această creștere a presiunii în cilindru în timpul arderii cu ulei de pin poate fi observată în diferitele etape ale ciclului de funcționare al motorului. De la punctul de aprindere inițială până la punctul de comprimare maximă, presiunea în cilindru este monitorizată pentru a evalua eficiența arderii. În cazul uleiului de pin, această presiune este menținută la niveluri optime, indicând o ardere uniformă și completă a combustibilului.

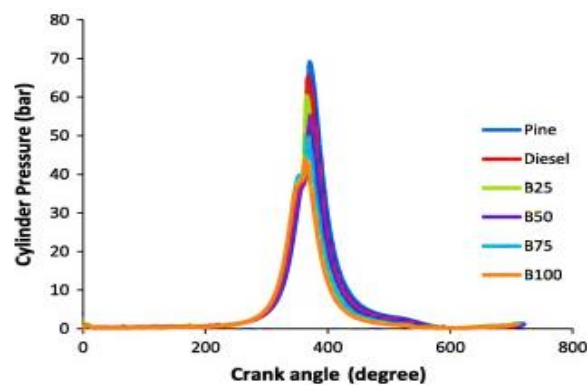


Figure 6 Presiunea din cilindru, adaptat după [22]

Prin intermediul procesului de transesterificare [23], biodieselul a fost produs din uleiul de eucalipt, iar amestecul rezultat, împreună cu motorina, a fost supus unui studiu experimental folosind un motor diesel cu injecție directă cu un singur cilindru. Observațiile au demonstrat că în toate condițiile de încărcare, consumul specific de combustibil (BSFC) și eficiența termică a frânei (BTE) pentru amestecul de biodiesel de eucalipt au depășit performanțele motorinei convenționale.

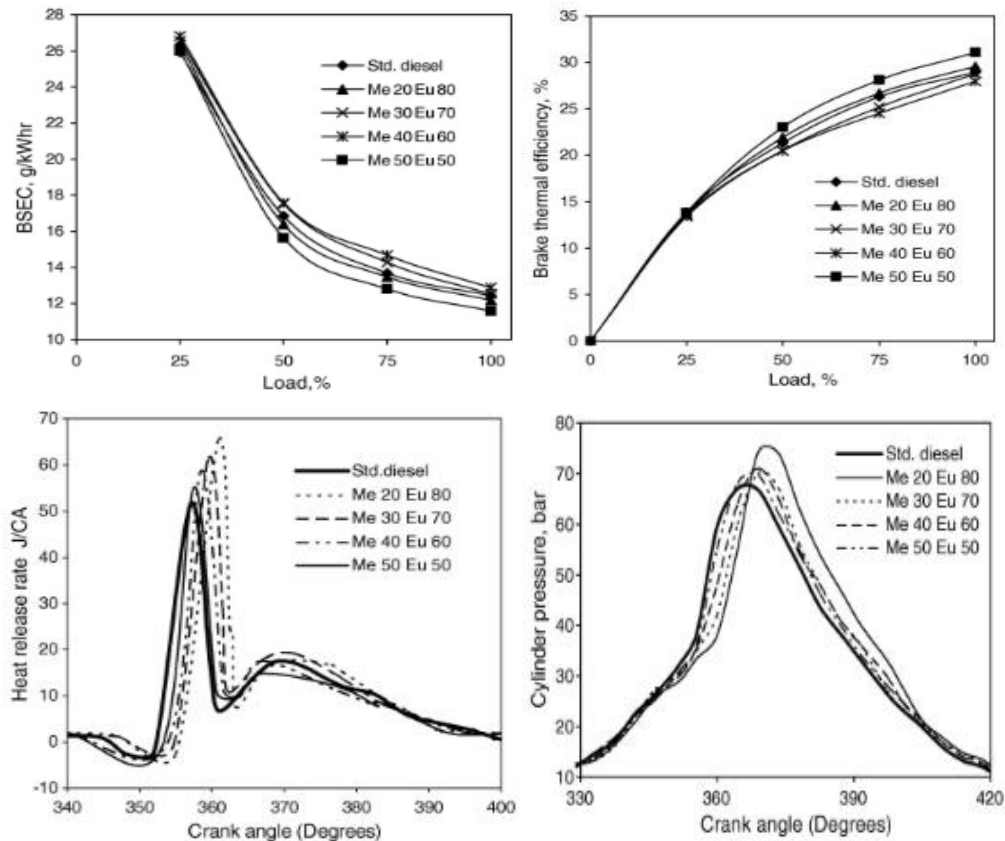


Figure 7 Performanța motorului alimentat cu amestecuri de ulei de eucalipt, adaptat după [24]

Utilizând diverse proporții de amestecuri de uleiuri esențiale, inclusiv ulei de coajă de lămâie, și adăugând eter dietilic (DEE), cercetătorii [25] au investigat variația eficienței termice a frânei (BTE) în funcție de sarcina motorului. Ei au constatat că BTE Figure 8 este îmbunătățită cu 3,7% pentru amestecul LPO20 DEE10 (20% LPO, 70% motorină și 10% eter dietilic) în comparație cu LPO20 (20% LPO și 70% motorină) la sarcina maximă dar cu toate acestea nu depășește eficiența termică atunci când se utilizează motorina.

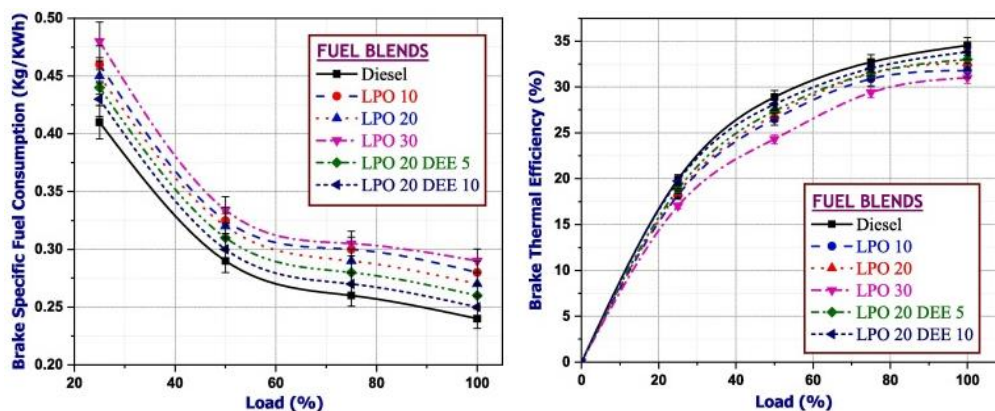


Figure 8 Indicatori de performanță pentru ulei esențial, adaptat după [25]

Presiunea în cilindru Figure 9 crește semnificativ pentru combustibili atunci când este aditivat cu DDE, și reduce perioada de întârziere la aprindere Figure 9 în comparație cu combustibilul neativitat cu DDE, datorită vâscozității reduse a uleiului de coajă de lămâie, care promovează evaporarea și atomizarea combustibilului, contribuind astfel la o ardere îmbunătățită.

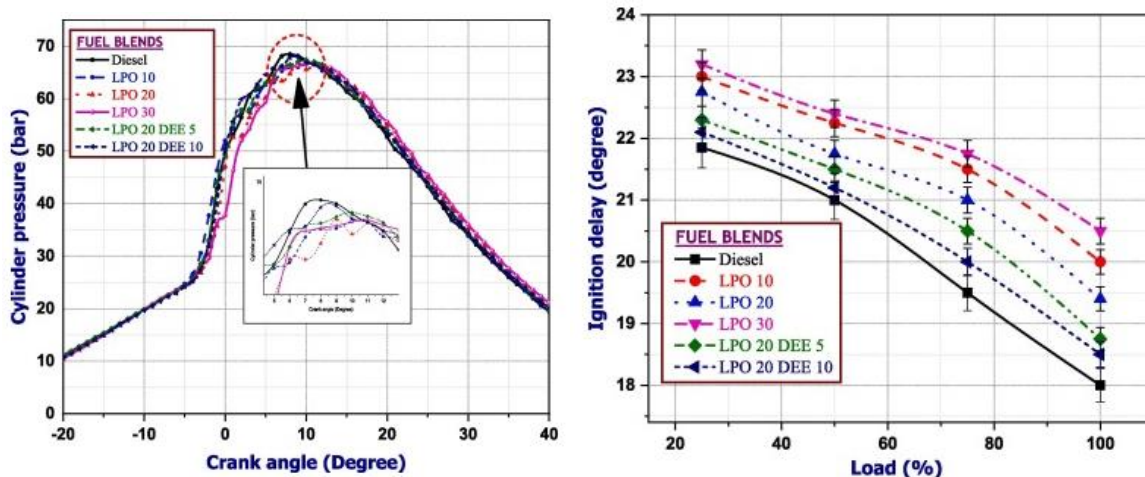


Figure 9 Întârzierea la aprindere și presiunea din cilindru, adaptat după [25]

1.8 Impactul biocombustibililor asupra emisiilor poluante

Studiul [16] realizat asupra amestecurilor de ulei de terebentină și jatropa, în special a JMT20 și J100, oferă informații valoroase privind impactul acestora asupra emisiilor de poluanți, în special a oxizilor de azot (NO_x) Figure 10. Cercetarea prezintă o analiză detaliată a acestor emisii în funcție de diferitele condiții de sarcină a motorului și compozițiile amestecului. O constatare semnificativă a studiului este reducerea considerabilă a emisiilor de NO_x. Această reducere este atribuită oxigenului suplimentar prezent în amestecuri, care conduce la o eficiență îmbunătățită a arderii. Cu toate acestea, este de menționat că emisiile de NO_x tind să crească odată cu o proporție mai mare a uleiului de jatropa în amestec, evidențiind complexitatea relației dintre compoziția amestecului și emisii.

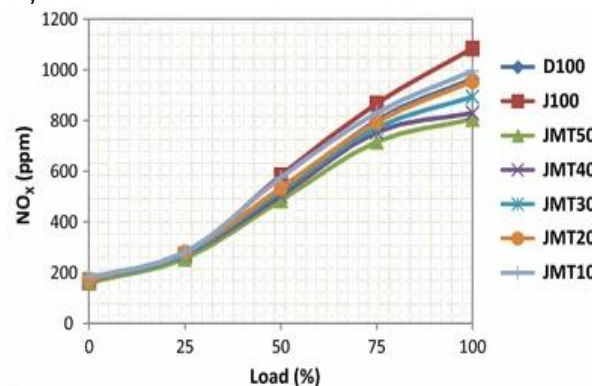


Figure 10 Emisiile oxizilor de azot [16]

Studiul [26] investighează emisiile unui motor alimentat dual, utilizând un amestec de terebentină și motorină, în diverse condiții de încărcare. Rezultatele relevă o creștere treptată a emisiilor de

CO de la 0% la 75% sarcină Figure 11, atribuită unei rate mai mari de fumigație și lipsei de oxigen. La sarcini mai mari, stingerea flăcării și formarea straturilor răcite în proximitatea pereților camerei de ardere conduc la o creștere cu 35% a emisiilor de CO la sarcina maximă a motorului.

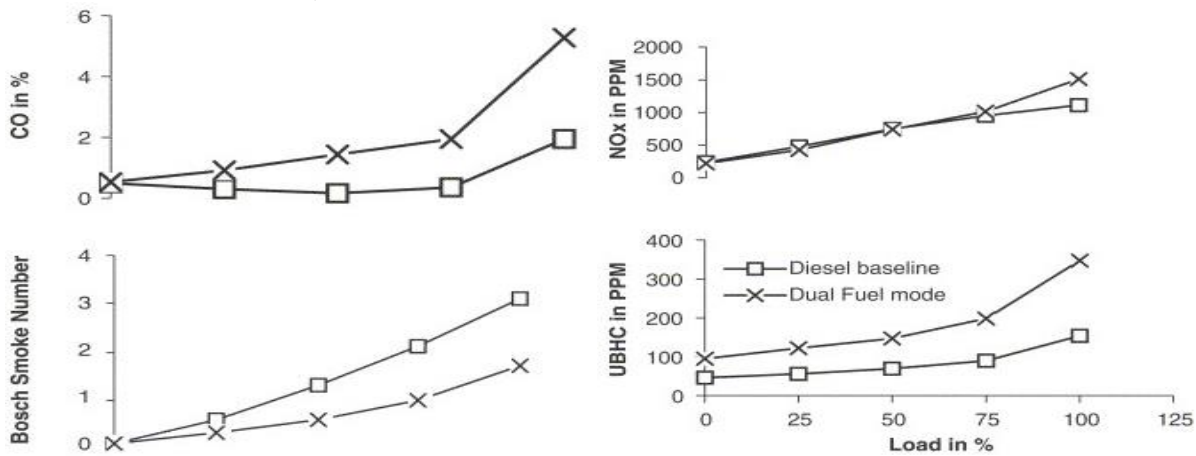


Figure 11 Emisiile poluante emise de motorul cu alimentare duală [26]

Într-un alt studiu [27] cercetătorii măsoară emisiile poluante a unui motor diesel ce este alimentat cu ulei de pin. Autorii raportează ca emisiile de NOx Figure 12 cresc odată cu majorarea proporției de ulei de pin în amestecul de combustibil, datorită prelungirii întârzierii la aprindere, care permite o amestecare mai eficientă a combustibilului și aerului, sporind astfel temperatura de ardere.

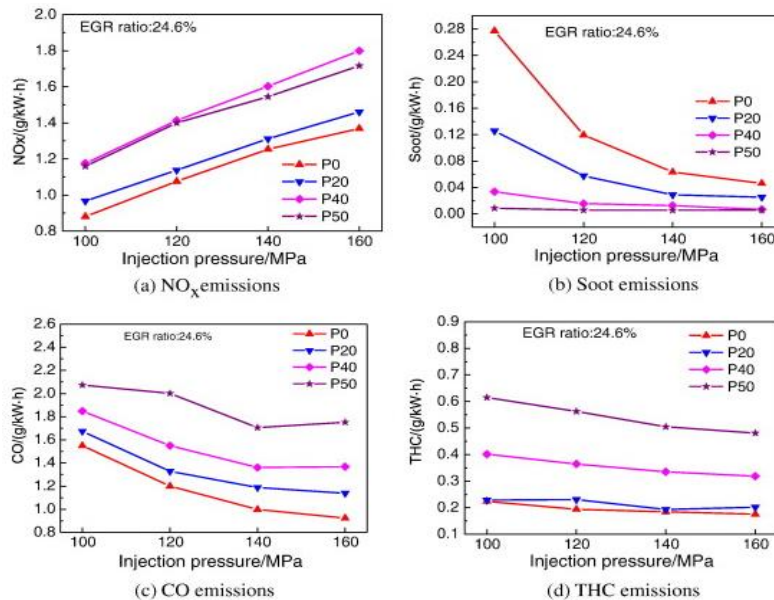


Figure 12 Emisiile poluante în funcție de presiunea de injecție [27]

În ceea ce privește emisiile poluante atunci când se folosesc uleiuri esențiale drept combustibil, autorii prezintă datele experimentale în mod clar și oferă interpretări relevante ale rezultatelor. Un aspect notabil al studiului [28] este investigarea emisiilor de NOx în cazul amestecurilor Me-Eu (ester metilic-ulei de eucalipt). Autorii raportează o creștere a emisiilor de Nox Figure 13, probabil

datorată prezenței oxigenului în ambele componente ale amestecurilor. Această observație este în concordanță cu cercetările anterioare care sugerează că amestecurile oxigenate pot duce la o creștere a emisiilor de NO_x. Autorii explică această tendință prin arderea completă, care generează temperaturi de ardere mai ridicate, favorizând astfel formarea de NO_x.

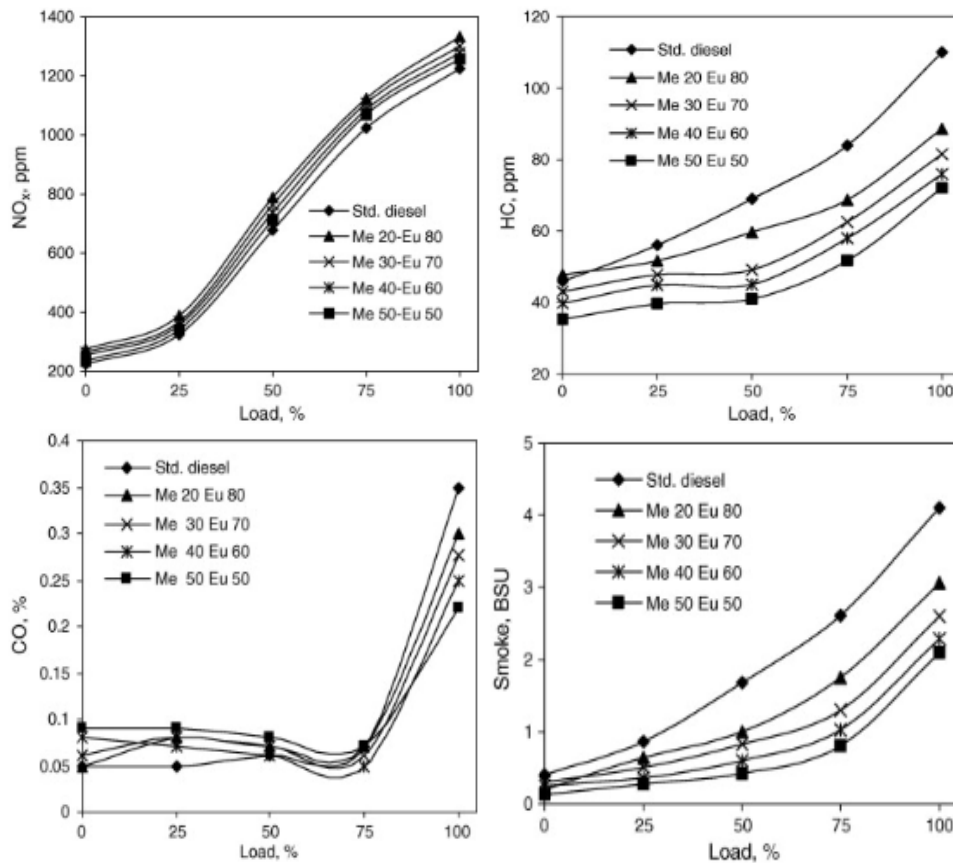


Figure 13 Emisii poluante ale motorului alimentat cu ulei esențial de eucalipt și ester metilic [28]

1.9 Motoare navale în doi timpi

Motoarele navale în doi timpi constituie un element crucial în domeniul propulsiei maritime, fiind recunoscute pentru eficiența și fiabilitatea lor superioară. Aceste motoare operează pe baza unui ciclu de ardere simplificat, completând un ciclu termodinamic complet în doar două curse ale pistonului: una pentru comprimarea amestecului de aer-combustibil și alta pentru evacuarea gazelor de ardere Figure 14.

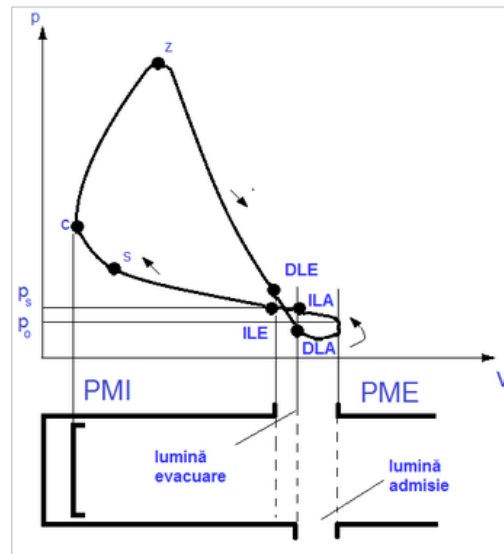


Figure 14 Ciclu termodinamic motor naval în doi timpi [29]

Aceasta diferă de motoarele în patru timpi, care necesită patru curse pentru a finaliza un ciclu complet Figure 15.

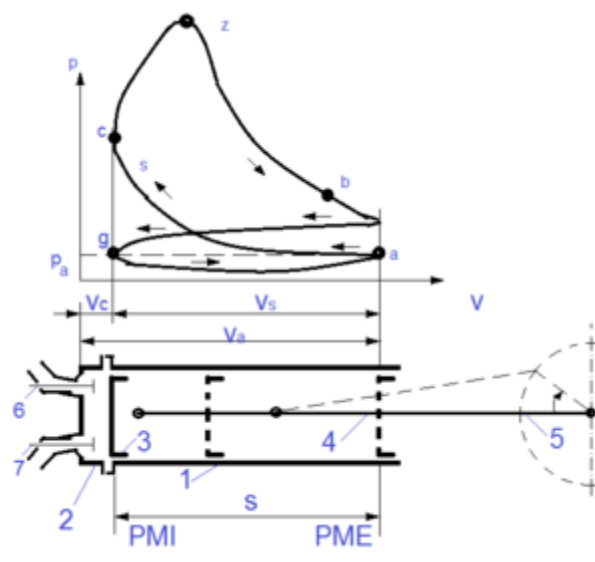


Figure 15 Ciclu termodinamic motor în patru timpi [30]

1.10 Folosirea pe termen lung a biocombustibililor

Utilizarea pe termen lung a biocombustibililor în motoarele diesel ridică numeroase întrebări și provocări, care necesită o analiză detaliată și o înțelegere profundă a implicațiilor tehnice, economice și ecologice. În acest capitol, ne propunem să examinăm mai multe aspecte, explorând avantajele și limitările utilizării pe termen lung a biocombustibililor în contextul motoarelor diesel, precum și perspectivele acestora pentru sustenabilitate și eficiență energetică. Literatura de specialitate ilustrează o gamă largă de cercetări relevante pentru integrarea biocombustibililor în motoarele cu aprindere prin compresie. Aceste investigații ridică probleme cruciale care trebuie luate în considerare atunci când se evaluează utilizarea pe termen lung a biocombustibililor în

aceste motoare. Studiile evidențiază atât potențialele avantaje ale biocombustibililor, cât și limitele și provocările asociate integrării acestora în tehnologia diesel. Biocombustibilii oxigenați obțin caracteristici mai bune în ceea ce privește performanța motorului și emisiile poluante comparativ cu combustibilii fosili, conform testelor experimentale [31]. Cu toate acestea, în utilizarea pe termen lung, s-a observat că aceștia pot cauza depuneri de carbon pe suprafețele metalice ale motorului. Autorii au efectuat teste extinse pe motoare mici (automobile) și mari (utilaje agricole) în diferite regimuri de funcționare Figure 16.

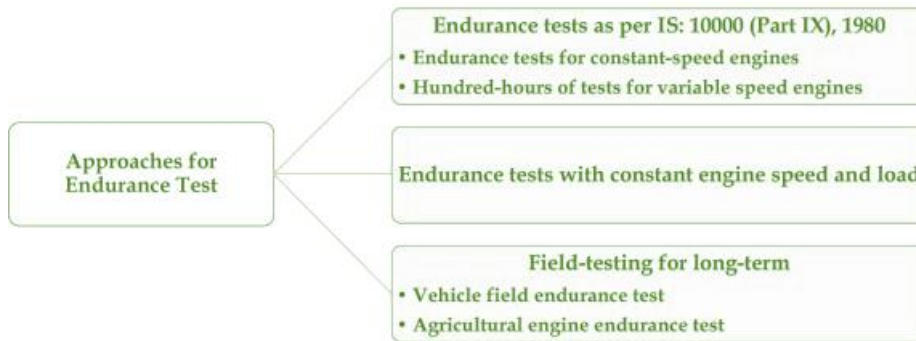


Figure 16 Condiții de testare a biocombustibililor [31]

Capitolul 2. Metodologia de Cercetare. Parte experimentală

Cercetarea experimentală a utilizării biocombustibililor în motoarele cu ardere internă reprezintă un aspect esențial în dezvoltarea unor soluții sustenabile și eficiente pentru sectorul energetic. Această metodă de investigare oferă o înțelegere detaliată și practică a comportamentului biocombustibililor în condiții reale de operare, permițând analiza riguroasă a efectelor asupra performanței motorului, eficienței combustiei și emisiilor de poluanți. În primul rând, cercetarea experimentală este crucială pentru validarea teoretică și simularea modelelor care prevăd comportamentul biocombustibililor ce este studiat în capitolul 3.

2.1 Standul experimental

Motorul utilizat pentru testarea carburanților a fost un diesel PSA HDi de 1,6 L Figure 17, cu patru cilindri, în patru timpi, răcit cu apă, echipat cu turbocompresor și intercooler. Modificările aduse motorului au inclus ajustarea presiunii turbocompresorului și dezactivarea sistemului EGR, realizate pentru a minimiza variabilitatea parametrilor și pentru a permite o analiză precisă a efectelor amestecurilor de combustibil asupra performanței motorului.

Table 1 Specificații tehnice a motorului cu ardere internă

Motor	1.6 HDi (75hp)
Capacitatea cilindrică	1560 cm ³
Numărul cilindrilor	4
Putere	55 kW (75 cv) @ 4000
Cuplu	185 N.m @ 1750 rpm
Combustibil	Diesel
Tipul injectiei	Common-Rail
Diametrul alezajului x cursă piston	75,0 x 88,3 mm
Raport de comprimare	18:1
Supraalimentare	Turbo (Mitsubishi 49173 – 07503)
Numărul de supape	16
Disponerea motorului	Transversal
Tracțiunea	Puntea față (FWD)



Figure 17 Standul experimental

2.2 Senzori și actuatoare

Senzorii sunt dispozitive sau module care detectează și măsoară o varietate de condiții fizice sau chimice din mediul înconjurător și le convertesc în semnale electronice care pot fi analizate, înregistrate sau utilizate pentru a controla alte dispozitive Figure 18. Ei joacă un rol crucial în multe aplicații, de la sisteme industriale și echipamente medicale până la vehicule.

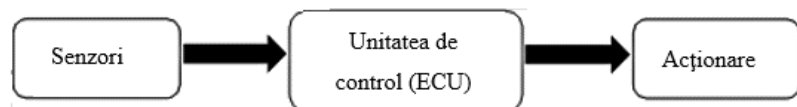


Figure 18 Funcționarea unei unități de control

Există mai multe tipuri de senzori utilizați pentru măsurarea turației arborelui cotit, fiecare cu principiul său de funcționare specific:

1. Senzori inductivi (Figure 19)

Avantaje: Senzorii inductivi sunt durabili, au un cost relativ scăzut și funcționează fără sursă de alimentare externă. Dezavantaje: Sensibilitatea lor poate fi influențată de viteza de rotație a arborelui cotit și de variațiile de temperatură.

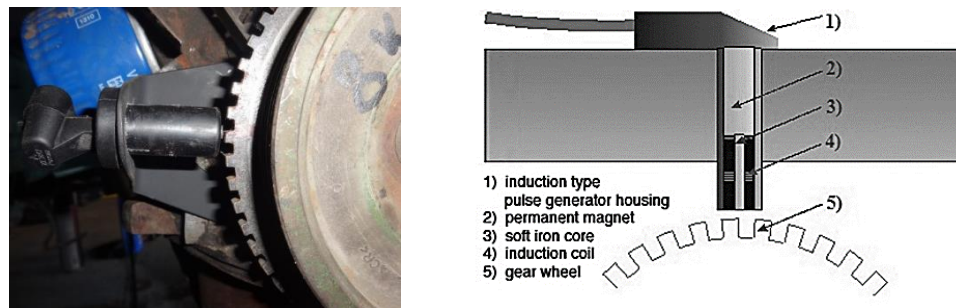


Figure 19 Senzor inductiv [32]

2. Senzori Hall (efect Hall)

Avantaje: Senzorii Hall oferă o precizie ridicată și sunt capabili să funcționeze la viteze mici și în condiții variate de temperatură. Dezavantaje: Necesită o sursă de alimentare externă și pot fi mai costisitori comparativ cu senzorii inductivi.

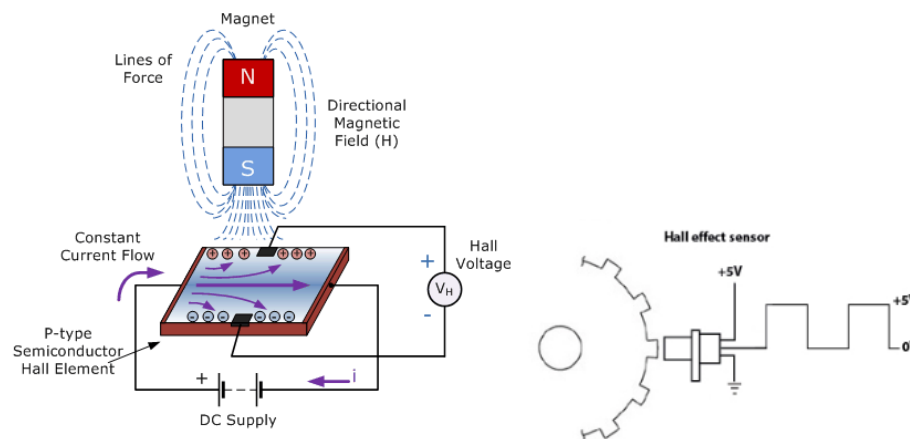


Figure 20 Principiu de funcționare senzor Hall [33]

3. Senzori optici Avantaje: Senzorii optici oferă o rezoluție foarte mare și o răspuns rapid. Dezavantaje: Pot fi sensibili la murdărie și praf, necesitând condiții de operare curate și întreținere periodică. Pentru canalele A, B și Z, semnalele de ieșire oferă următoarele informații: Canalele A și B furnizează informații despre poziția arborelui cotit. În funcție de rezoluția dorită, numărul de sectoare opace și transparente care poate varia în funcție de precizia dorită. Canalul Z include un singur sector transparent, care emite un impuls la fiecare rotație completă a codificatorului, indicând poziția punctului mort superior (TDC).

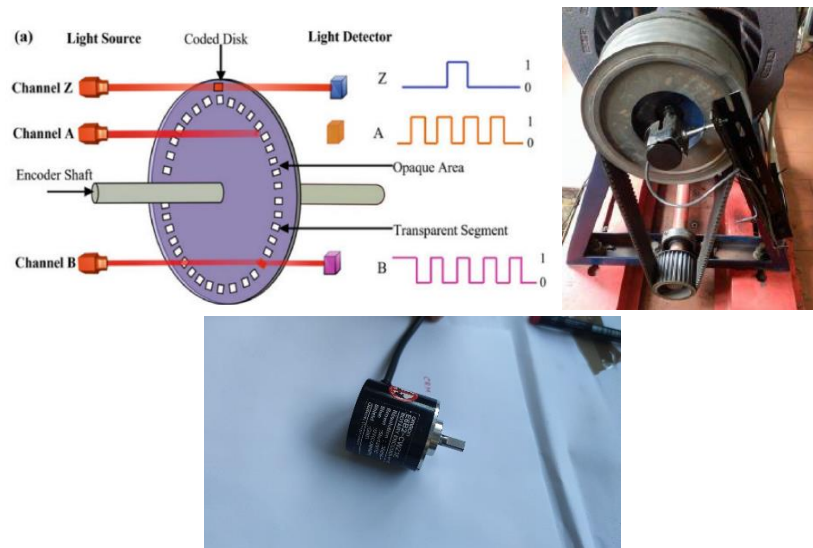


Figure 21 Principiul de funcționare al encoderului de poziție [34]

2.2.2 Senzor de masurare a debitului de fluid aflat pe galeria de admisie

Avantaje: Oferă o măsurare precisă și rapidă a debitului de aer, fiind sensibil la schimbările rapide în fluxul de aer.

Dezavantaje: Sensibil la contaminare și necesită curățare periodică pentru a menține acuratețea măsurărilor [35].

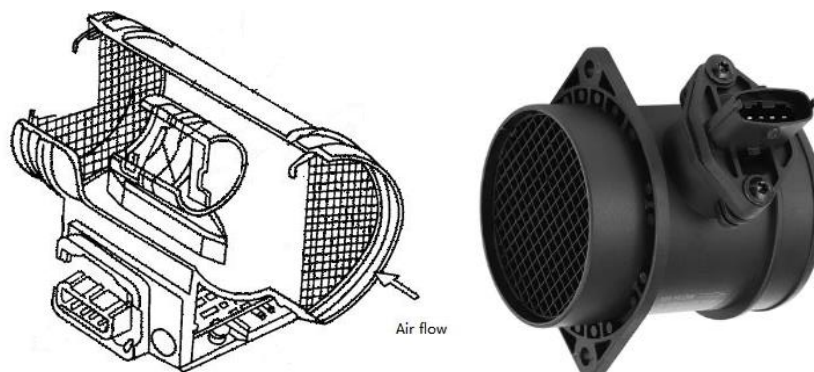


Figure 22 Principiul de funcționare al senzorului MAF

În motoarele diesel moderne, senzorul MAF este esențial pentru funcționarea optimă și eficientă a motorului.

2.2.3 Senzorul de măsurare a presiunii absolute din galeria de admisie

Avantaje: Precizie și stabilitate ridicată, timp de răspuns rapid. Dezavantaje: Sensibilitate la temperatură și necesitatea compensării termice. Element capacitiv Principiu: Acest tip de

senzor utilizează un condensator variabil format din două plăci paralele, dintre care una este fixă și cealaltă este montată pe o diafragmă flexibilă. Când presiunea variază, distanța dintre plăci se schimbă, modificând capacitatea electrică. Schimbările în capacitate sunt convertite într-un semnal electric proporțional cu presiunea. Avantaje: Durabilitate și stabilitate pe termen lung, sensibilitate redusă la variațiile de temperatură. Dezavantaje: Complexitate și costuri de fabricație mai mari.



Figure 23 Senzorul de măsurare a presiunii din galeria de admisie

2.2.4 Senzori de temperatură

Senzorul pentru măsurarea temperaturii lichidului de răcire pentru managementul motorului.

Senzorul de temperatură a lichidului de răcire al unui motor Figure 24 este un dispozitiv esențial pentru monitorizarea și gestionarea termică a motorului cu ardere internă. Acest senzor, ECT (Engine Coolant Temperature), măsoară temperatura lichidului de răcire care circulă în sistemul de răcire al motorului și furnizează aceste date către unitatea de control electronic (ECU).

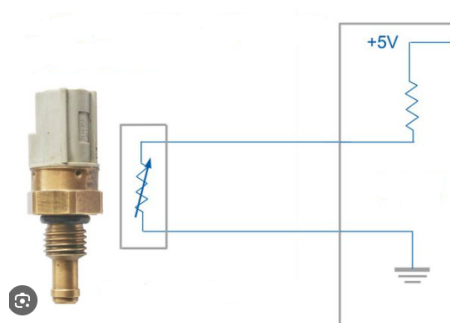


Figure 24 Senzor pentru monitorizarea temperaturii

Senzor de temperatura pentru placa de achizitii de date (termocuple de tip K)

Termocuplele de tip K Figure 26 reprezintă un dispozitiv de măsurare a temperaturii, recunoscut pentru versatilitatea și robustețea sa în diverse aplicații industriale și de cercetare.

Aceste termocuple sunt fabricate din două materiale diferite, cromel (un aliaj de nichel și crom) și alumel (un aliaj de nichel și aluminiu), care sunt unite la un capăt pentru a forma joncțiunea de măsurare Figure 25.



Figure 25 Joncțiunea termocuplei tip K [36]

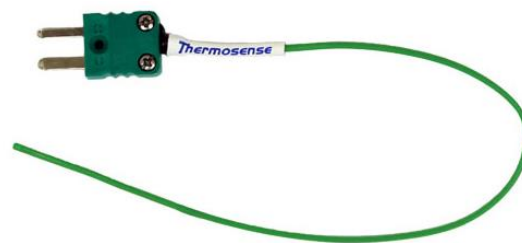


Figure 26 Termocuplu de tip K [36]

- monitorizarea temperaturii din laborator a fost măsurată și înregistrată cu un dispozitiv numit termohigrobarometru Figure 27 [37], capabil să măsoare temperatura, umiditatea, și presiunea atmosferică.



Figure 27 Termohigrobarometru

2.2.5 Senzor pentru măsurarea momentului motor tip celulă S

Senzorul de tip celulă S Figure 28 este un dispozitiv utilizat pentru măsurarea cuplului motorului. Această denumire provine de la forma sa caracteristică, care seamănă cu litera "S". Celulele de sarcină S sunt utilizate în mod frecvent pentru măsurarea forțelor de tracțiune și compresiune în diverse aplicații industriale și de testare.



Figure 28 Senzor celulă S

2.2.6 Senzorul de presiune din rampa comună de combustibil

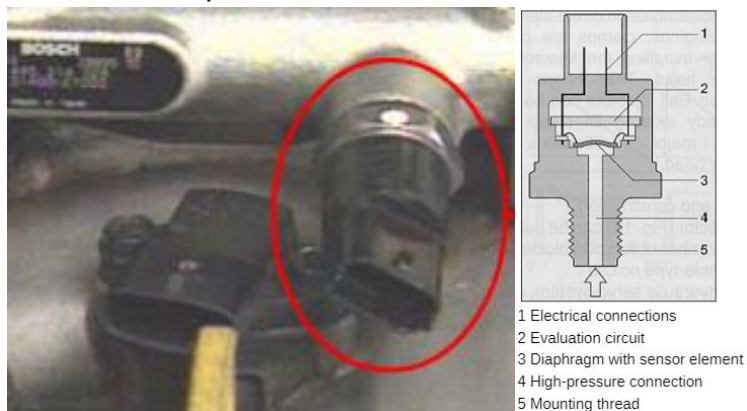


Figure 29 Senzor de înaltă presiune a combustibilului [32]

2.2.7 Senzorul pedalei de accelerație

Pedala de accelerație electronică Figure 30, reprezintă o componentă crucială în gestionarea sarcinii motorului diesel modern. Spre deosebire de sistemele tradiționale cu cablu, pedala de accelerație electronică funcționează prin intermediul semnalelor electrice, transmise de la pedală la unitatea de control electronic (ECU - Electronic Control Unit) a motorului. Pedala de accelerație electronică este echipată cu senzori care monitorizează poziția acesteia.



Figure 30 Pedala de accelerație

Semnalul pedalei de accelerație a fost monitorizat cu ajutorul sistemului de achiziții de date pentru stabilirea sarcinii motorului. Spre exemplu atunci când tensiunea pedalei de accelerație este de 1.39V Figure 31, motorul are o sarcină de 37.3%. În cazul în care semnalul tensiunii pedalei de accelerație este de 1,01V Figure 31, corespunde o sarcină a motorului de 27.1 %.

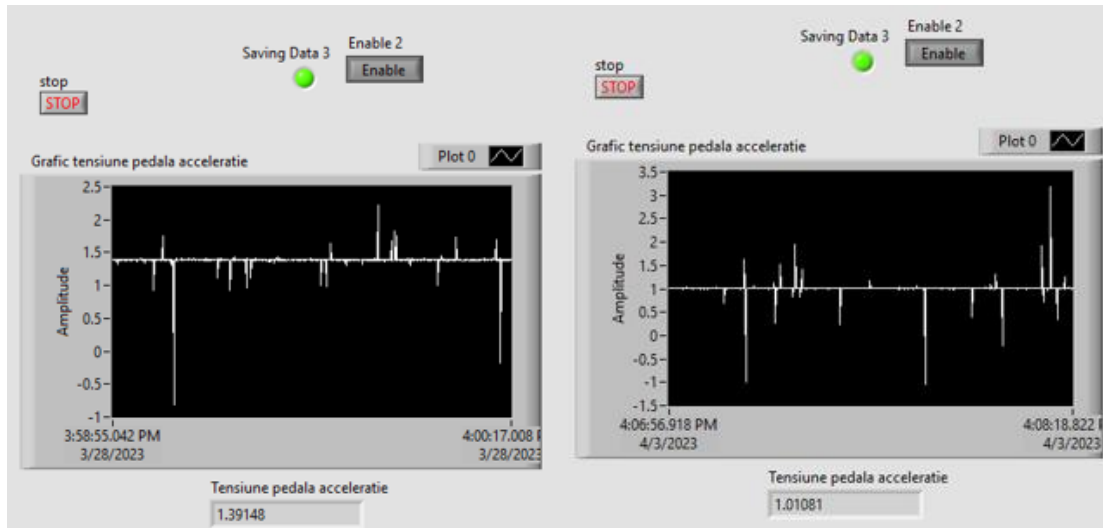


Figure 31 Semnal pedala de accelerație

2.2.8 Actuatore (injectorul de combustibil)

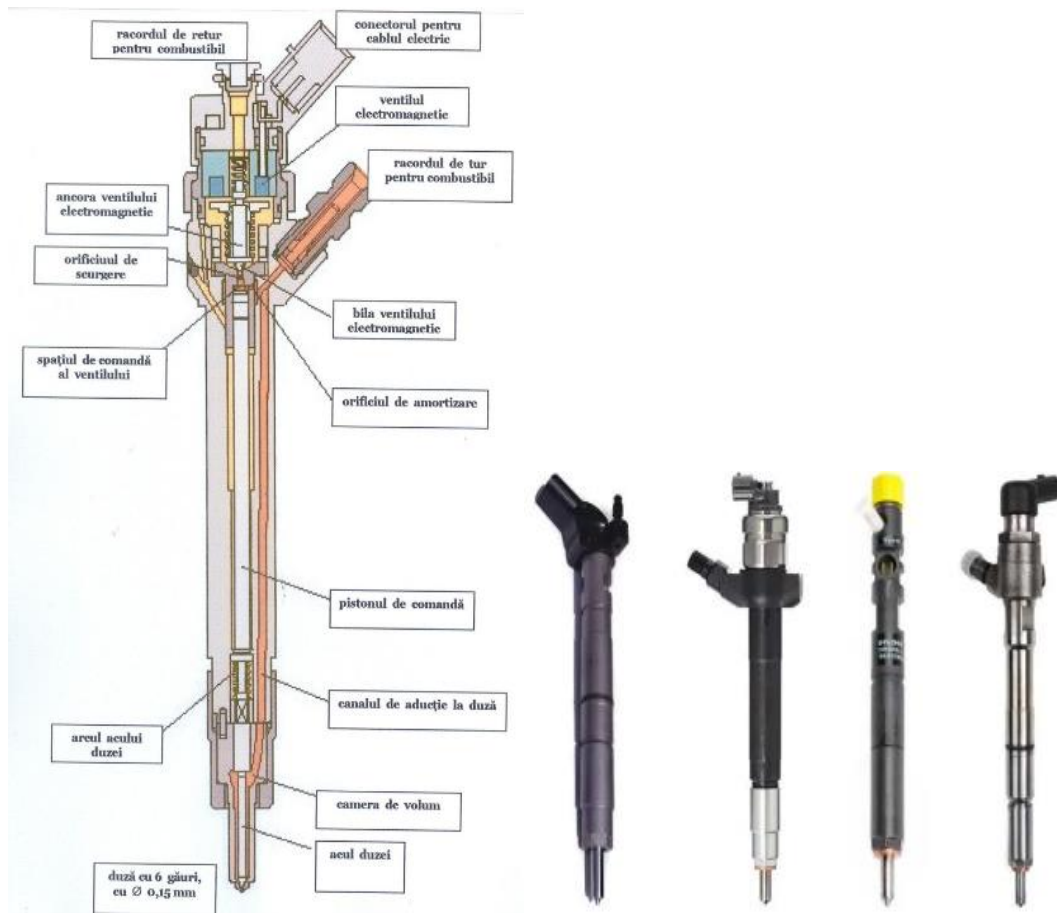


Figure 32 Injectorul de combustibil [38]

Transformarea semnalului electric în mișcare: Injectorul de combustibil este controlat de ECU, care trimite semnale electrice către injector Figure 33. Aceste semnale determină deschiderea și închiderea acului injectorului, permițând combustibilului să fie injectat în camera de ardere.

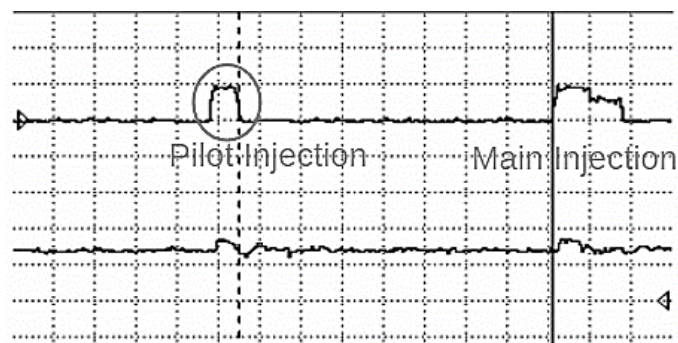


Figure 33 Semnalul electric al injectorului de combustibil

Controlul debitului de combustibil: Semnalele de la ECU reglează durata și momentul injecției de combustibil precum și strategia de injecție, influențând astfel debitul de combustibil

injectat. În Figure 34 este prezentată o strategie de injecție de combustibil și anume pre-injecție și injecția principală de combustibil, precum și evoluția presiunii în camera de ardere atunci când se utilizează pre-injecția. Se observă că atunci când este utilizată pre-injecția, presiunea în camera de ardere este mai crescută datorită atomizării combustibilului.

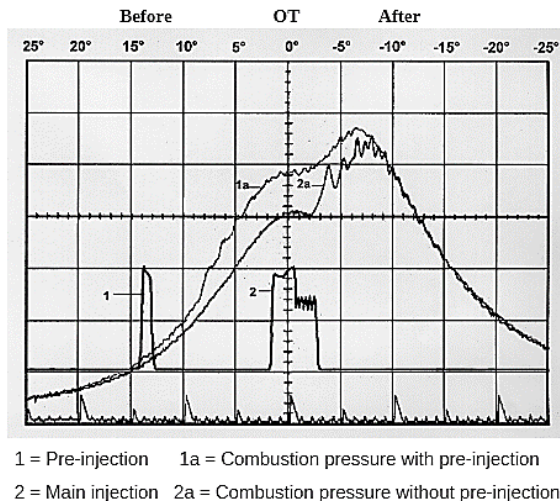


Figure 34 Semnal electric pentru injector cu strategia de preinjecție de combustibil[32]

Acest lucru este esențial pentru optimizarea performanței motorului și pentru reducerea emisiilor.

2.3 Sistemul de supraalimentare

Supraalimentarea este un sistem utilizat pentru a crește performanța unui motor cu aprindere prin comprimare (diesel) prin creșterea densității aerului admis în cilindri. Acest proces este realizat de obicei cu ajutorul unui compresor, denumit turbocompresor sau compresor mecanic (supercharger), care comprimă aerul înainte de intrarea sa în cilindri, permițând astfel introducerea unei cantități mai mari de aer și, în consecință, a unei cantități mai mari de combustibil. Astfel, se obține o combustie mai eficientă și o putere mai mare dezvoltată de motor.

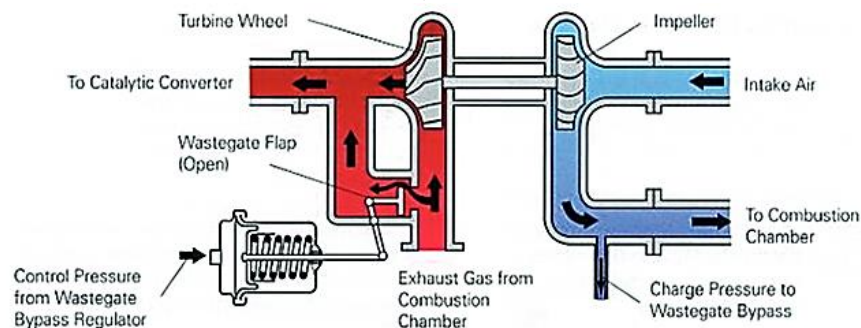


Figure 35 Schema de funcționare a turbinei și a compresorului [39]

- Intercoolerul Figure 36: Este un schimbător de căldură folosit pentru a răci aerul comprimat înainte de a intra în cilindri. Răcirea aerului crește densitatea acestuia, contribuind la o combustie mai eficientă și la o putere crescută a motorului.



Figure 36 Schimbător de căldură (intercooler)

- Valve de bypass și de decompresie (waste gate) Figure 37: Permit gazelor de evacuare să ocolească turbina pentru a preveni supraîncălzirea acesteia Figure 35, controlând astfel presiunea de supraalimentare. Valve de decompresie: Eliberează excesul de presiune din sistemul de admisie pentru a preveni supraîncălzirea și deteriorarea motorului.

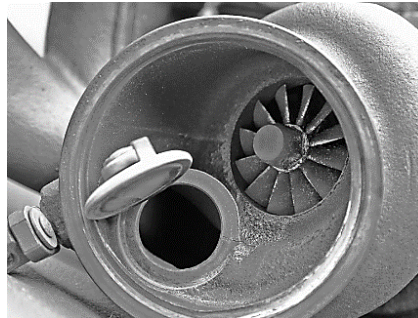


Figure 37 Valva de decompresie a turbinei

2.4 Sistemul de înaltă presiune a combustibilului cu rampă comună

Pompa de înaltă presiune este un component esențial în sistemul de injecție al motoarelor diesel moderne, jucând un rol crucial în asigurarea performanței și eficienței acestora. Aceasta are rolul de a presuriza combustibilul la presiuni extrem de mari, necesare pentru o injecție precisă și o combustie eficientă în cilindri. Presiunea generată de pompa de înaltă presiune poate ajunge până la 2000 bar sau chiar mai mult în unele aplicații avansate, totuși standul experimental e echipat cu o pompă capabilă să genereze maxim 1600 bar.

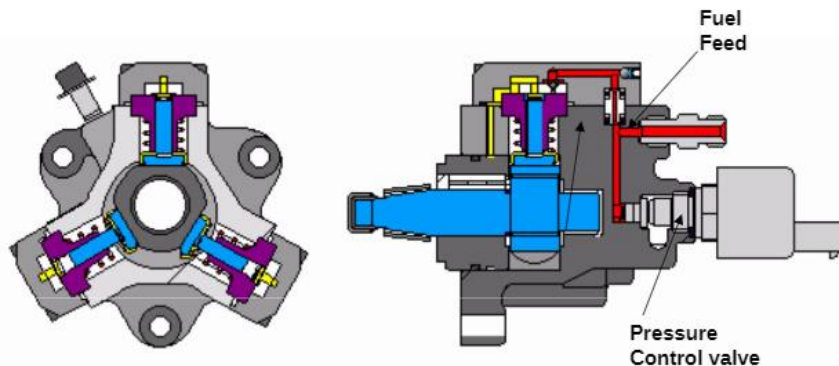


Figure 38 Pompa de înaltă presiune [32]

2.5 Sistem de diagnosticare și programare al unității de comandă (ECU)

Sistemul Kess v2 Figure 39 reprezintă o avansată unealtă de diagnostic și reprogramare a unității de control electronic (ECU) utilizată în mod exclusiv în industria auto. Acesta permite citirea și scrierea datelor din ECU, facilitând astfel optimizarea performanței vehiculului, ajustarea parametrilor motorului și diagnosticarea erorilor.



Figure 39 Sistemul de reprogramare Kess

2.6 Frâna electromecanică

Frâna electromagnetice Telma Figure 40 este un dispozitiv esențial utilizat în evaluarea performanțelor motorului diesel, în special pentru determinarea cuplului motorului. Aceasta tehnologie folosește principiile inducției electromagnetice pentru a crea o forță de frânare controlabilă, permițând măsurători precise și repetabile ale parametrilor de performanță ai motorului.

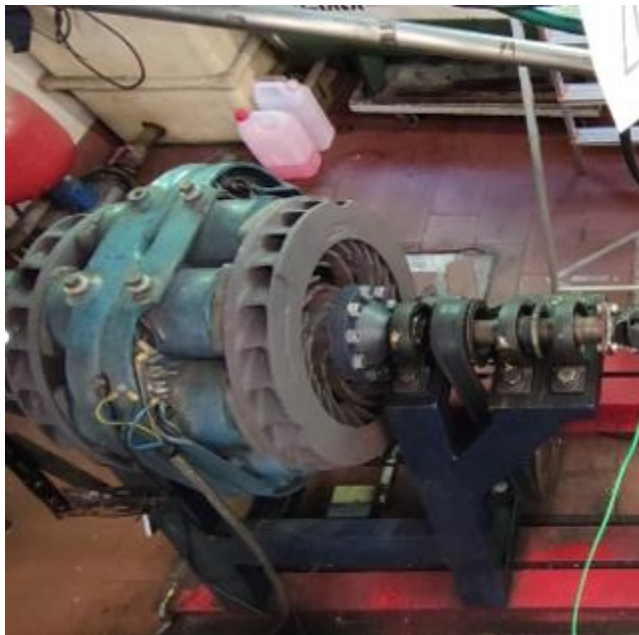


Figure 40 Frâna electromagnetică

Dispozitivul constă, în esență, dintr-un rotor și un stator. Rotorul este atașat la arborele motorului Figure 17, iar statorul conține electromagneți.



Figure 41 Variator de tensiune

2.7 Măsurarea emisiilor poluante cu ajutorul analizorului de gaze și a opacimetrului

Compania AVL oferă soluții avansate pentru analiza gazelor de eșapament și măsurarea opacității fumului, utilizând echipamente de înaltă precizie precum analizorul de gaze folosit pentru această cercetare (AVL DiGas 4000 Light) și opacimetrul (AVL DiSmoke) Figure 42.



Figure 42 Analizorul de gaze și opacimetrul AVL

2.8 Sistemul de achiziții de date

2.8.1 Placa de achiziții de date National Instruments

În cadrul acestei cercetări, s-au utilizat plăci de achiziție de date de la National Instruments Figure 43, recunoscute pentru performanța lor superioară și fiabilitatea în captarea și procesarea datelor experimentale.



Figure 43 Placă de date de achiziții

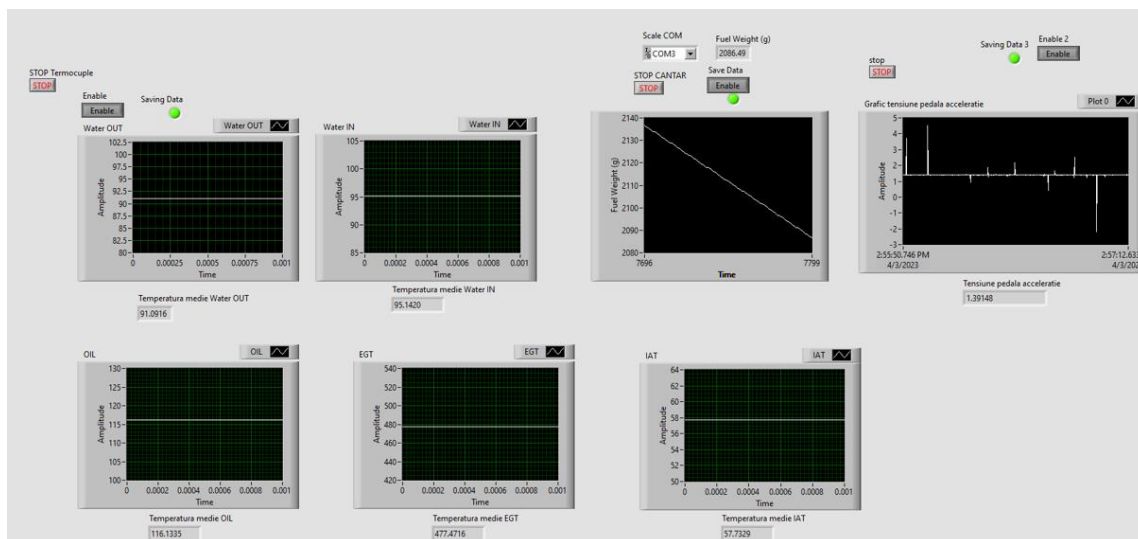


Figure 44 Interfața grafică pentru plăcile de achiziții date National Instruments

2.8.2 Măsurarea consumului de combustibil

Standul experimental oferă un mediu controlat în care toate variabilele care influențează consumul de combustibil pot fi manipulate și măsurate cu exactitate. Aceasta include temperatura, presiunea, umiditatea și condițiile de sarcină ale motorului. Prin izolarea și controlul acestor factori, se pot obține date precise și replicabile, esențiale pentru evaluarea corectă a performanței

motorului. Acest nivel de precizie nu poate fi atins în condiții de operare reală, unde variabilele sunt mult mai greu de controlat.

Măsurarea precisă a consumului de combustibil al motorului pe standul experimental este esențială pentru evaluarea performanței și eficienței energetice a motoarelor. Utilizarea unui cântar de precizie Kern cu o precizie de 0,01g, cuplat la un sistem de achiziții de date, oferă un nivel înalt de acuratețe și detalii necesare pentru cercetările avansate în domeniul tehnologiilor de propulsie, specificațiile tehnice ale cântarului se găsesc în [40].



Figure 45 Măsurarea consumului de combustibil

În cadrul experimentelor pe standul motorului, un cântar de precizie Kern Figure 45, capabil să măsoare mase cu o exactitate de 0,01g, a fost integrat în sistemul de alimentare cu combustibil. Acest cântar, cunoscut pentru fiabilitatea și precizia sa, a fost cuplat la un sistem de achiziții de date, permițând monitorizarea continuă și înregistrarea exactă a consumului de combustibil în timpul funcționării motorului.

Acest sistem este configurat să înregistreze date la intervale foarte scurte de timp, oferind o rezoluție temporală ridicată. După colectarea și stocarea datelor privind consumul de combustibil utilizând cântarul de precizie Kern și sistemul de achiziții de date, se procedează la analiza detaliată a acestora

2.9 Prepararea amestecurilor de combustibil

Proporțiile de amestec între 5% și 30% Figure 46 sunt suficiente pentru a fi compatibile cu motorul cu ardere internă fără necesitatea modificărilor majore. Acest lucru permite utilizarea imediată a biocombustibililor, facilitând adoptarea pe scară largă.



Figure 46 Mixuri de biocombustibil cu combustibil convențional

Diferitele proporții de amestec permit ajustarea utilizării biocombustibililor în funcție de disponibilitatea acestora și de cerințele specifice ale motorului. Astfel, se poate optimiza echilibrul între performanța motorului și beneficiile de mediu. Studiile experimentale (Capitolul 1) au demonstrat că amestecarea biocombustibililor cu combustibili convenționali în proporții de până la 30% nu afectează negativ performanța motoarelor, cu excepția unor cazuri. În această cercetare au fost preparate 10 amestecuri de combustibil conform tabelului Table 2 și au fost testați în aceleași condiții de sarcină.

Table 2 Amestecuri de biocombustibil cu motorină

5T95D	5% Turpentine + 95% Diesel
10T90D	10% Turpentine + 90% Diesel
15T85D	15% Turpentine + 85% Diesel
20T80D	20% Turpentine + 80% Diesel
30T70D	30% Turpentine + 70% Diesel
5EU95D	5% Eucalyptus oil + 95% Diesel
10EU90D	10% Eucalyptus oil + 90% Diesel
15EU85D	15% Eucalyptus oil + 85% Diesel
20EU80D	20% Eucalyptus oil + 80% Diesel
30EU70D	30% Eucalyptus oil + 70% Diesel

2.10 Rezultate experimentale

În acest subcapitol vor fi prezentate rezultatele experimentale obținute în cadrul studiului asupra performanței și emisiilor poluante ale motorului diesel utilizând combustibili alternativi (terebentina și uleiul de eucalipt).

2.10.1 Performanțele motorului

Variabilitatea cuplului în funcție de încorporarea terebentinei poate fi observată în cele patru condiții distincte testate Figure 47. La sarcină redusă și o turație a motorului de 1700 RPM, amestecul 15T85D a înregistrat cea mai semnificativă creștere a cuplului, cu 7,9% mai mare decât cea a motorinei. La o turație a motorului de 2250 RPM și sarcină mică, amestecul 30T70D a prezentat cea mai mare performanță, cu un cuplu cu 5,2% mai mare decât cel al motorinei. La sarcină mare și o turație a motorului de 1700 RPM, amestecul 15T85D a înregistrat cea mai mare creștere a cuplului față de combustibilul de referință, marcând o creștere de 6,8%. În condițiile de sarcină mare și turație ridicată a motorului, amestecul 30T70D a demonstrat o creștere a cuplului de 4,7%.

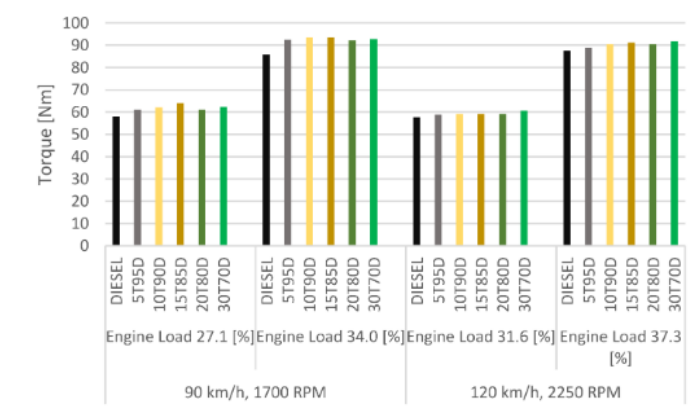


Figure 47 Variația cuplului, motor alimentat cu amestecuri de terebentină-diesel

Figure 48 prezintă puterea de frânare a motorului obținută cu diverse amestecuri de combustibil. La turații reduse, creșterile au fost de aproximativ 9% pentru combustibilul cu o încorporare de 15% terebentină, atât în setările de turație redusă, cât și de sarcină scăzută a motorului.

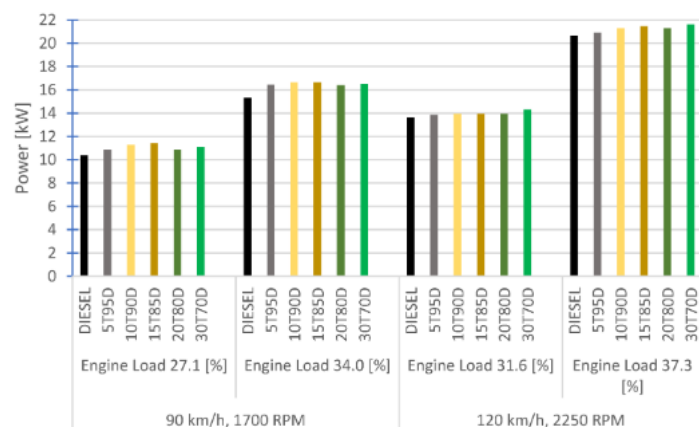


Figure 48 Puterea măsurată, motor alimentat cu amestecuri de terebentină

Variațiile consumului specific de combustibil pentru frânare sunt ilustrate în Figure 49.

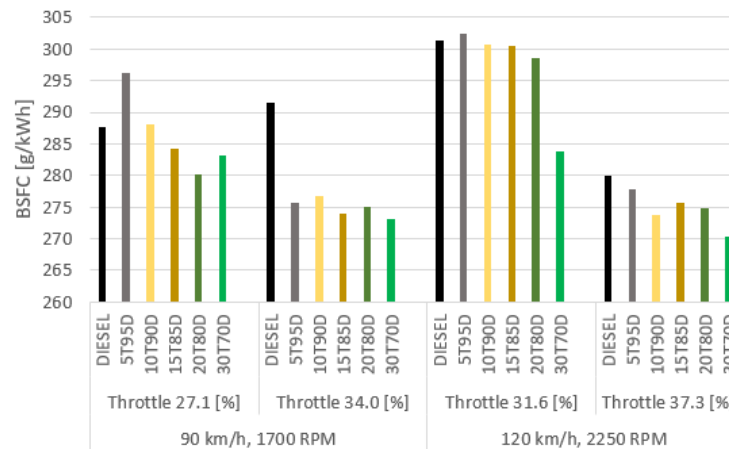


Figure 49 Consumul specific de combustibil, terebentină-diesel

Eficiența termică la frână (BTE) a motorului, exprimată în procente pentru diverse concentrații de amestecuri de biocombustibil cu motorină, este ilustrată în Figure 50.

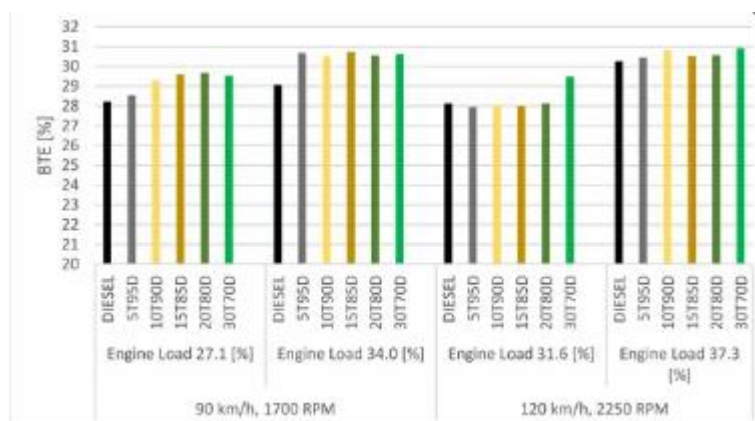


Figure 50 Eficiența termică la frânare, terebentină-diesel

Amestecurile ulei esențial de eucalipt și motorină au respectat aceleași condiții de testare.

Cuplul motorului a fost evaluat pe baza măsurătorilor efectuate, iar rezultatele au arătat o corelație semnificativă între variația cuplului și compoziția amestecurilor de combustibil (ulei esențial de eucalipt și motorină) Figure 51.

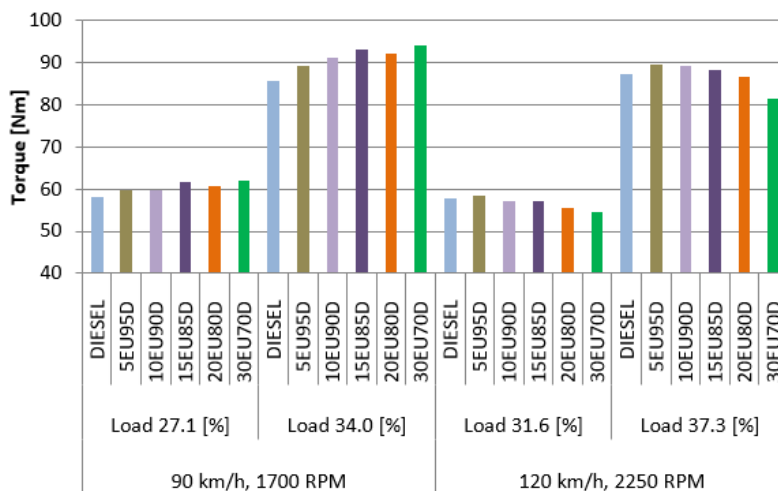


Figure 51 Variația cuplului, ulei esențial de eucalipt-diesel

Pentru majoritatea turațiilor și sarcinile motorului, încorporarea uleiului de eucalipt în orice procent a dus la o creștere a consumului de combustibil Figure 52.

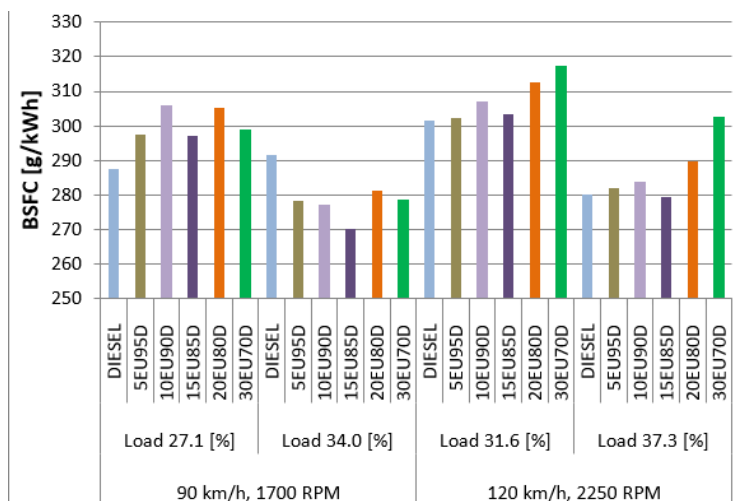


Figure 52 Consumul specific de combustibil, ulei esențial de eucalipt-diesel

Figure 53 arată eficiența termică a frânei. Există doar oscilații minore între diferitele amestecuri de combustibil la turația redusă a motorului (1700 rpm) și sarcina mică a motorului (27,1%).

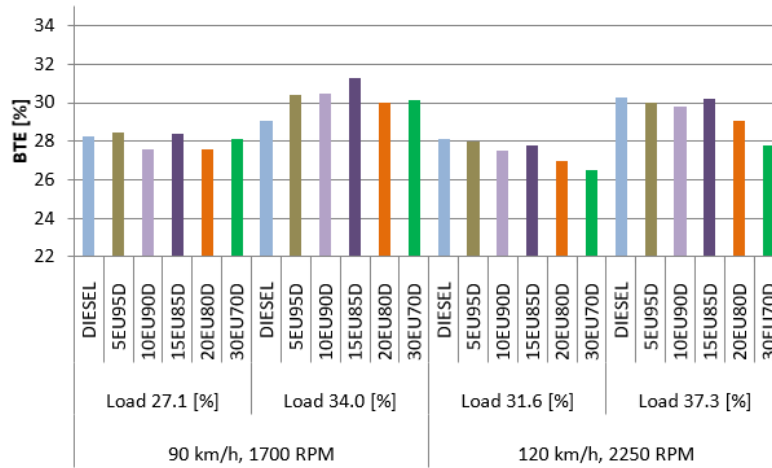


Figure 53 Eficiența termică la frână, ulei esențial de eucalipt-diesel

2.10.2 Emisiile poluante ale motorului

Figure 54 a) arată emisiile de hidrocarburi nearse (HC). Amestecul care conține cel mai mare procent de terebentină din motorină a generat cele mai mari emisii de HC pentru toate sarcinile motorului (30T70D). În ceea ce privește sarcinile motorului, emisiile de HC ale acestui amestec au fost cu 24,6% și 37,1% mai mari decât cele ale combustibilului de referință la 1700 RPM. Emisiile HC ale 30T70D au fost cu 25,3% și cu 17,3% mai mari decât cele ale motorinei la 2250 RPM. Cu toate acestea, trebuie remarcat că momentul (cuplul) s-a îmbunătățit cu încorporarea de terebentină astfel emisiile specifice nu au crescut la fel de mult.

Figure 54 b) prezintă concentrațiile de HC în ppm pentru fiecare condiție testată. Orice încorporare de ulei de eucalipt crește emisiile de HC, pentru turațiile reduse, dar scad când motorul are turație ridicată indiferent de sarcină.

Emisiile de hidrocarburi prezintă valori relativ similare, însă amestecurile de terebentină demonstrează o tendință ușor ridicată și instabilă în comparație cu amestecurile de ulei de eucalipt, unde tendința emisiilor este în scădere la turații mari ale motorului.

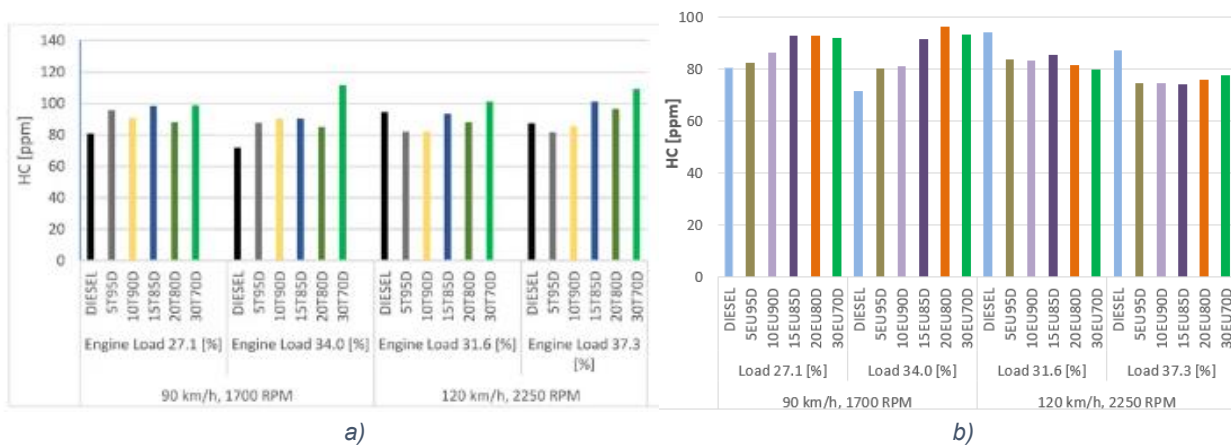


Figure 54 Emisii de hidrocarburi nearse

a) Emisiile de fum ale diferitelor amestecuri de combustibil sunt prezentate în
 b)

Figure 55. În mod clar, condițiile de testare cu sarcină mare și viteză mică au produs niveluri de fum mult mai mari decât orice alte condiții de testare. Acest lucru a fost valabil pentru toate amestecurile de combustibil.

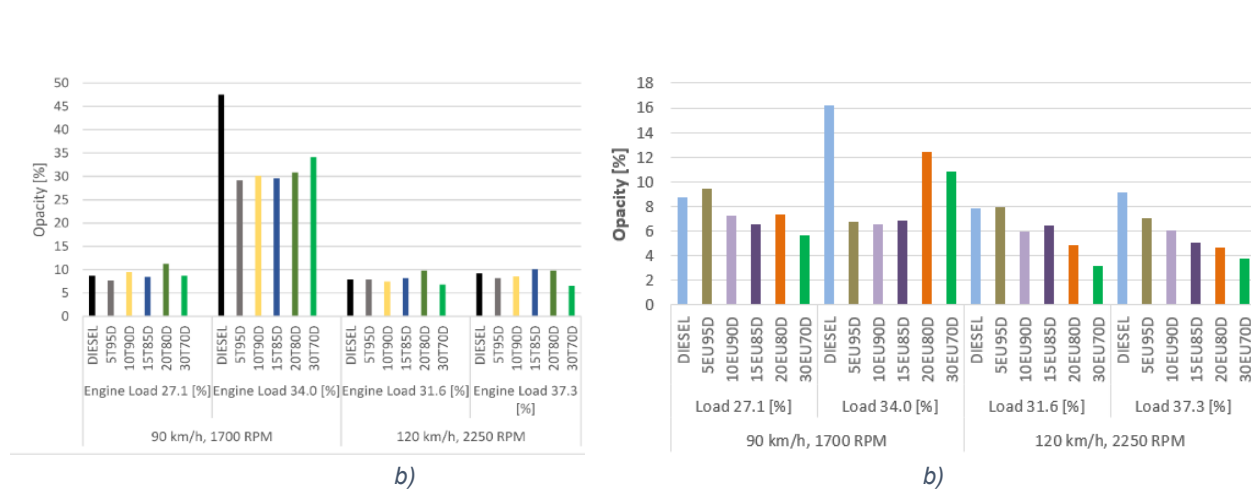


Figure 55 Opacitatea fumului

Tendențele emisiilor de dioxid de carbon (CO_2) pentru amestecurile de terebentină și motorină Figure 56 se mențin constante, prezentând o ușoară creștere, însă fără a depăși 3% în toate condițiile de testare. Acest comportament poate fi atribuit caracteristicilor combinate ale combustibililor, care influențează procesul de ardere și, implicit, producția de CO_2 . Menținerea creșterii emisiilor de CO_2 într-un interval restrâns indică o stabilitate relativă a amestecurilor în ceea ce privește eficiența combustiei și impactul asupra emisiilor de gaze cu efect de seră. Aceste rezultate sugerează că, deși amestecurile de terebentină și motorină modifică ușor profilul emisiilor de CO_2 , variațiile sunt suficient de mici pentru a fi considerate nesemnificative din punct de vedere ecologic în contextul condițiilor testate.

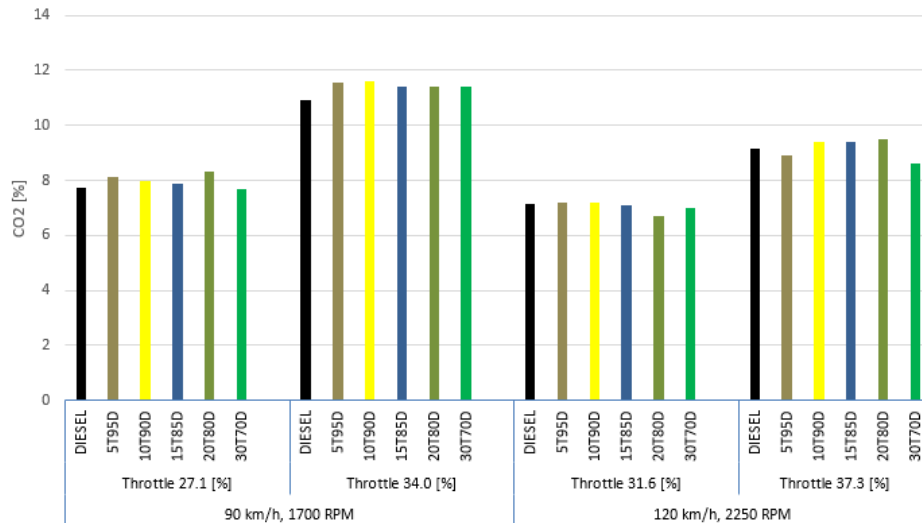


Figure 56 Emisii de dioxid de carbon, terebentină-diesel

Figure 57 arată că concentrația de dioxid de carbon măsurată atinge cea mai mică valoare în fiecare caz de turație și sarcină a motorului. Deoarece există o concentrație mai mare de ulei de eucalipt în amestecul de combustibil, concentrația de CO₂ are tendința de a scădea.

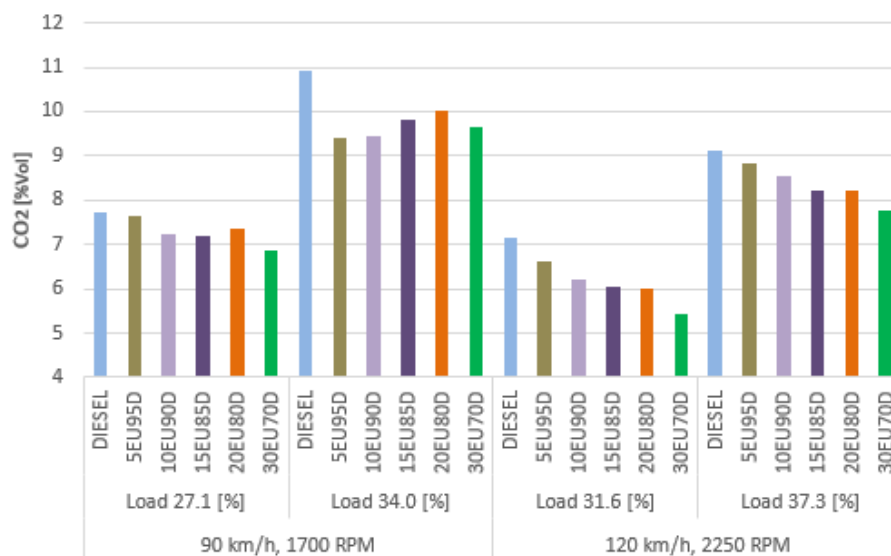


Figure 57 Emisii dioxid de carbon, ulei esențial de eucalipt-diesel

În ceea ce privește emisiile de oxizi de azot s-a observat că atunci când crește concentrația de terebentină duce la emisii mai mari de Nox Figure 58. Prezența oxigenului în biocombustibil a crescut producția de NOx. În plus, este cunoscut faptul că, datorită condițiilor care favorizează formarea oxizilor de azot, o creștere a performanței de ardere are tendința de a

crește temperatura de ardere și, în mod indirect, emisia de NOx. Amestecul 30T70D a înregistrat cele mai mari valori. Din nou, încorporarea de terebentină a ajutat la creșterea cuplului, astfel încât creșterea emisiilor specifice nu este atât de mare.

Temperatura de ardere, excesul de aer și prezența oxigenului în molecula de combustibil sunt toate legate de emisiile de oxizi de azot. Temperatura gazelor de eșapament ale amestecului de ulei de eucalipt și motorină a fost în general mai scăzută la toate regimurile de turație și sarcini ale motorului. Figure 59 arată emisiile de oxizi de azot.

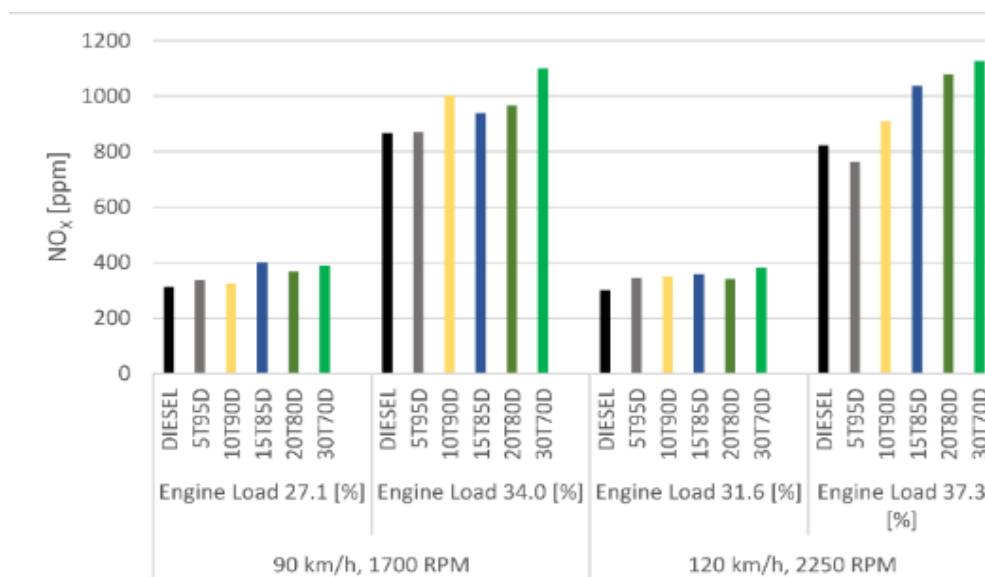


Figure 58 Emisii de oxizi de azot, terebentină-diesel

Totuși, această cercetare a constatat că emisiile de oxizi de azot ale combustibilului de referință au fost cu cel puțin 17% mai mari decât cele ale amestecurilor de combustibili chiar și atunci când cuplul motorului și randamentul termic al frânei au fost crescute. Acesta este un rezultat excelent în comparație cu alți biocombustibili, cum ar fi terebentina, care, datorită prezenței oxigenului în molecula sa, are tendința de a crește emisiile de Nox Figure 58.

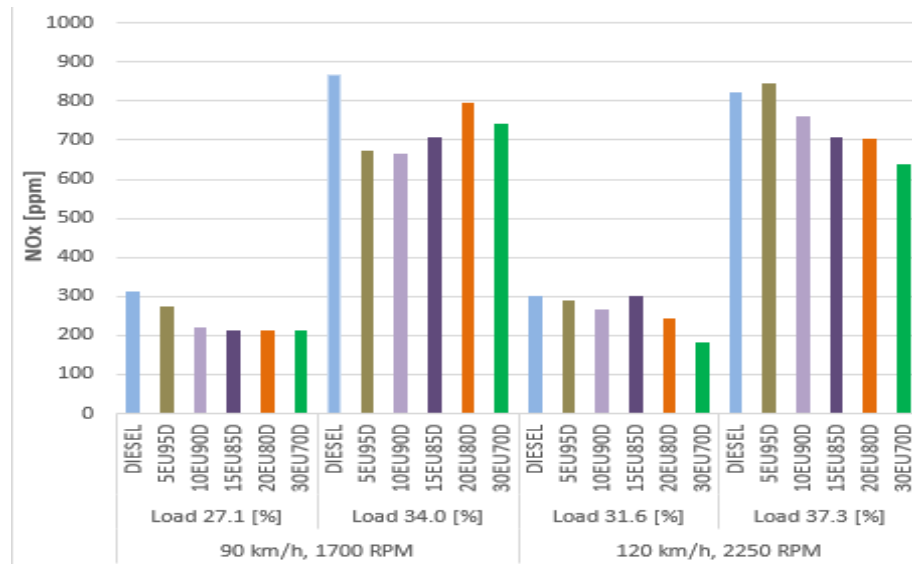


Figure 59 Emisii de oxizi de azot, ulei esențial de eucalipt-diesel

Capitolul 3. Modelare numerică. Simularea motorului cu ardere internă zero-dimensională

3.1 Clasificarea modelelor de simulare

Modelele zero-dimensionale (0D), cunoscute și sub denumirea de modele termodinamice, reprezintă o abordare simplificată și eficientă pentru simularea motoarelor cu ardere internă

Avantajele modelelor zero-dimensionale. Datorită presupunerilor simplificatoare, modelele 0D sunt relativ rapide și ușor de implementat. Acest lucru le face ideale pentru evaluări preliminare și optimizări rapide ale parametrilor motorului. Modelele 0D necesită resurse computaționale reduse în comparație cu modelele mai complexe (1D, 2D, 3D), permițând simulări rapide și multiple iterații. Aceste modele sunt frecvent utilizate în fazele inițiale de dezvoltare a motorului pentru a evalua diferite concepte de design și pentru a selecta parametrii optimi de funcționare.

Limitele modelelor zero-dimensionale. Modelele 0D nu pot captura variațiile spațiale ale parametrilor termodinamici în interiorul camerei de combustie, ceea ce limitează acuratețea în predicția distribuției locale de temperatură și compoziție. Prin natura lor, modelele 0D sunt aproximări grosiere ale proceselor reale care au loc în motor. Aceasta poate duce la erori în predicțiile detaliate, cum ar fi formarea emisiilor și comportamentul de ardere. Precizia modelelor 0D depinde în mare măsură de calitatea datelor experimentale utilizate pentru calibrare. Inexactitățile în datele de intrare pot conduce la erori în rezultatele simulate.

3.2 Model unizonal

Procesele interne ale simulării modelului unizonal pot fi descrise folosind un set de ecuații termodinamice și de transport. Aceste ecuații includ balanțele de masă, energie și ecuația de stare a gazelor.

În Figure 60 este prezentat modelul unizonal pentru această cercetare în care se observă limita sistemului și termenii pentru conservare masei și energiei.

Injecția directă (motoare cu admisie de aer) a fost luată în considerare pentru termenii prezentați. În varianta cu admisie de amestec, masa de combustibil este deja inclusă în masa care intră în sistem, m_{in} . Conform ecuației de continuitate, variația masei m din volumul, este egală cu suma debitelor masice de intrare și de ieșire, \dot{m}_i . Legea conservării masei pentru sistemul considerat (camera de ardere) are următoarea formă diferențială în raport cu unghiul de rotație al arborelui cotit, φ :

Equation 1 Legea conservării masei

$$\frac{dm}{d\varphi} = \frac{dm_{in}}{d\varphi} + \frac{dm_{ex}}{d\varphi} + \frac{d_{m_{BB}}}{d\varphi} + \frac{d_{m_f}}{d\varphi}$$

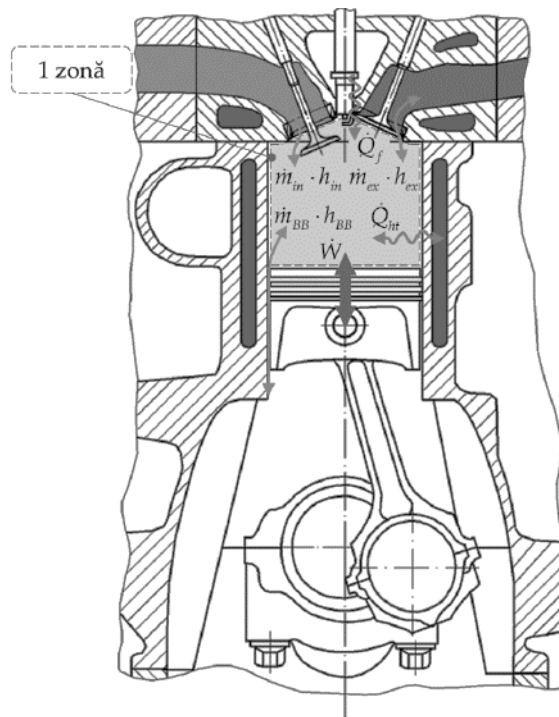


Figure 60 Model unizonal, adaptat după [41]

Conservarea energiei pentru camera de ardere este exprimată în formă diferențială cu ajutorul Equation 2.

Equation 2 Forma generală de conservare a energiei

$$\frac{dU}{d\varphi} = \frac{dQ_f}{d\varphi} + \frac{dQ_{ht}}{d\varphi} + \frac{dW_v}{d\varphi} + \frac{dm_{in}}{d\varphi} h_{in} + \frac{dm_{ex}}{d\varphi} h_{ex} + \frac{dm_{BB}}{d\varphi} h_{BB}$$

Unde, a se vedea Equation 24

$$\frac{dW_v}{d\varphi} = -p \frac{dV}{d\varphi}$$

Determinarea stării unui gaz omogen implică utilizarea parametrilor fizici precum presiunea (P), volumul (V) și temperatura (T).

Ecuția de stare a gazului ideal:

Equation 3 Ecuția termică de stare

$$pV = nRT$$

Ecuția de stare a gazului poate fi scrisă și sub formă diferențială

Equation 4 Ecuația de stare a gazului sub formă diferențială

$$p \frac{dv}{d\varphi} + V \frac{dp}{d\varphi} = nR \frac{dT}{d\varphi} + mT \frac{dR}{d\varphi} + RT + \frac{dm}{d\varphi}$$

Energia internă totală U a camerei de ardere poate fi exprimată ca suma produselor dintre masele individuale ale speciilor chimice prezente și energiile interne specifice ale acestora. Ecuația pentru energia internă U este:

Equation 5 Ecuația energiei interne

$$U = \sum_i^n m_i u_i$$

Motorul diesel formează amestecul de combustibil în cilindru, prin urmare masa de combustibil introdus se transformă în masă arsă.

Equation 6 Masa de combustibil introdusă în cilindru

$$m = m_a + m_b$$

Unde masa de aer care este necesară m_a poate fi determinată din masa totală a combustibilului m_f , a necesarului de aer AFR ($m_{a \min}$) și a raportului de combustibil aer notat cu λ .

În momentul funcționării motorului, energia internă se modifică, prin urmare în motorul cu admisie de aer variația energiei interne în funcție de unghiul de rotație al arborelui cotit φ este prezentat în Equation 7.

Equation 7 Variația energiei interne în timpul unui ciclu motor

$$\frac{dU}{d\varphi} = \frac{d\lambda}{d\varphi} \cdot AFR \cdot m_f \cdot u_a + \frac{dm_f}{d\varphi} \cdot \lambda \cdot AFR \cdot u_a + \frac{du_a}{d\varphi} \cdot \lambda \cdot AFR \cdot m_f + \left\{ \frac{dm}{d\varphi} - \left[\frac{dm_f}{d\varphi} (1 + \lambda \cdot AFR) + \frac{d\lambda}{d\varphi} m_f \cdot AFR \right] \right\} u_b + \frac{du_b}{d\varphi} [m - m_f (1 + \lambda \cdot AFR)]$$

3.3 Modelarea energiei interne

Conform lui Heywood, ecuația pentru calculul entalpiei molare este descrisă de Equation 8:

Equation 8 Ecuția pentru calculul entalpiei molare

$$\bar{h}_i = \bar{R} \cdot T \left(a_{i,1} + \frac{a_{i,2}}{2} T + \frac{a_{i,3}}{3} T^2 + \frac{a_{i,4}}{4} T^3 + \frac{a_{i,5}}{5} T^4 + \frac{a_{i,6}}{T} \right)$$

Energia internă u_i a unei componente se obține din energia internă molară specifică \bar{u}_i și masa molară \bar{M}_i . Energia internă molară medie specifică este calculată din participațiile molare X_i și energiile interne molare specifice ale componentelor conform ecuației **Error!**
Reference source not found..

3.4 Modelarea arderii

Equation 9 Modelarea arderii formă generală

$$\frac{dQ_f}{d\varphi} = LHV \cdot \frac{dm_f}{d\varphi}$$

$$Q_{f \text{ total}} = LHV \cdot m_f$$

Cele mai folosite modele de ardere se enumeră modelul Vibe, Dublu-Vibe, Vibe-hiperbolă.

Modelul Vibe.

Modelul de ardere Vibe, dezvoltat de Ivan Vibe [42], este un model matematic simplu și eficient utilizat pentru a descrie eliberarea de căldură în timpul procesului de combustie în motoarele cu ardere internă. Acest model este folosit pe scară largă datorită capacității sale de a se ajusta pentru a reprezenta diverse scenarii de ardere prin modificarea unui număr mic de parametri, .

Equation 10 Ecuția caracteristicii de ardere a modelului Vibe

$$MFB = \frac{Q_f(\varphi)}{Q_{f \text{ total}}} = 1 - e^{-a \left(\frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{comb}} \right)^{m+1}}$$

$$\varphi_{SOC} \leq \varphi \leq \varphi_{SOC} + \Delta\varphi_{comb}$$

Parametrul Vibe a este descris de Equation 11.

Equation 11 Ecuția parametrului Vibe "a"

$$a = -\ln(1 - \eta_{c \text{ total}})$$

ROHR (Rate of Heat Release) semnifică rata de eliberare a căldurii într-un motor cu ardere internă. Este o măsură a energiei eliberate pe unitate de timp sau pe unitate de unghi de rotație a arborelui cotit, în timpul procesului de combustie.

Equation 12 Ecuația ratei de eliberare a căldurii

$$ROHR = \frac{dQ_f}{d\varphi} = \frac{Q_{f \text{ total}}}{d\varphi} a(m+1) \cdot \left(\frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{comb}} \right)^m \cdot e^{-a \left(\frac{\varphi - \varphi_{SOC}}{\Delta\varphi_{comb}} \right)^{m+1}}$$

Modelul Dublu Vibe

Modelul Dublu Vibe este o extensie a modelului Vibe clasic, utilizat pentru a descrie mai precis procesul complex de ardere în motoarele Diesel.

Equation 13 Prima ecuația pentru modelul dublu Vibe

$$\frac{dQ_{f1}(\varphi)}{d\varphi} = Q_{f1} \cdot a \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\varphi - \varphi_{SOC1}}{\Delta\varphi_{comb1}} \right)^{m_1} \cdot e^{-a \left(\frac{\varphi - \varphi_{SOC1}}{\Delta\varphi_{comb1}} \right)^{m_1+1}}$$

Equation 14 A doua ecuație pentru modelul dublu Vibe

$$\frac{dQ_{f2}(\varphi)}{d\varphi} = Q_{f2} \cdot a \cdot (m_2 + 1) \cdot \left(\frac{\varphi - \varphi_{SOC2}}{\Delta\varphi_{comb2}} \right)^{m_2} \cdot e^{-a \left(\frac{\varphi - \varphi_{SOC2}}{\Delta\varphi_{comb2}} \right)^{m_2+1}}$$

Fracțiile cumulative de căldură eliberată pentru fazele de premixare și difuzie Q_{f1} , Q_{f2} se împarte cu factorul x și rezultă Equation 15.

Equation 15 Cantitatea de căldură eliberată raportată la X

$$Q_{f1} = x \cdot Q_{f \text{ total}}$$

$$Q_{f2} = (1 - x) \cdot Q_{f \text{ total}}$$

$$Q_{f \text{ total}} = Q_{f \text{ pre}} + Q_{f \text{ diff}}$$

Funcția Dublu Vibe nu poate reproduce arderea continuă din timpul evacuării gazelor din cilindru.

3.5 Aplicativitatea modelelor de ardere

Arderea în modelele zerodimensionale, sunt utilizate în diverse situații pentru a face predicții privind evoluția procesului de combustie la un punct de operare pe care nu-l cunoaștem.

Această metodă implică determinarea parametrilor de bază prin măsurători și calcule inițiale, urmată de ajustarea curbei de ardere în funcție de noile condiții de operare [43].

Equation 16 Ecuția de ardere după Woschini [41], [43]

$$\Delta\varphi_{comb} = \Delta\varphi_{comb\ ref} \left(\frac{\lambda_{ref}}{\lambda}\right)^{0,6} \left(\frac{n}{n_{ref}}\right)^{0,5}$$

Determinarea parametrilor modelului Vibe în funcție de întârzierea la aprindere poate fi realizată printr-o abordare metodică, luând în considerare întârzierea la aprindere (φ_{IGD}), presiunea (p), temperatura (T) și turația (n). Parametrii esențiali ai modelului Vibe sunt factorul de formă (m) și coeficientul de formă (a). Acești parametri pot fi determinați folosind relații empirice și metode de ajustare specifice. Parametrul m poate fi determinat conform

Equation 17 Determinarea parametrului m după Woschini

$$m = m_{ref} \left(\frac{\varphi_{IGD}}{\varphi_{IGD\ ref}}\right)^{0,5} \left(\frac{p_{IVC}}{p_{IVC\ ref}}\right) \left(\frac{T_{IVC\ ref}}{T_{IVC}}\right) \left(\frac{n_{ref}}{n}\right)^{0,3}$$

În contextul termotehnicii și al motoarelor termice, termenul "căldură netă" se referă la energia termică totală generată într-un proces de ardere sau de conversie energetică, minus energia pierdută sub formă de căldură de evacuare și alte pierderi. Este o măsură a energiei utile disponibile după ce toate pierderile termice au fost luate în considerare. Ecuția care descrie acest proces sub forma diferențială este Equation 18.

Equation 18 Ecuția sub formă diferențială a căldurii nete

$$\frac{dQ_{fn}}{d\varphi} = \frac{dQ_f}{d\varphi} - \frac{dQ_{ht}}{d\varphi}$$

3.6 Pierderile de căldură prin pereți

Schimbul de căldură prin conducție

Conducția termică se bazează pe transferul de energie cinetică de la moleculele mai energice (mai fierbinți) la cele mai puțin energice (mai reci), în absența unui transport macroscopic de materie. Legea lui Fourier descrie matematic acest fenomen Equation 19.

Equation 19 Calculul conducției prin pereții camerei de ardere

$$Q(x, t) = -k \cdot A \cdot \text{grad}T(x, t)$$

Equation 19 se poate scrie pentru conducție unidimensională în regim staționar ca fiind Equation 20

Equation 20 Ecuația pentru conducție în regim staționar

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Schimbul de căldură prin convecție

Legea răcirii lui Newton descrie fenomenul de transfer de căldură prin convecție și este exprimată matematic prin **Error! Reference source not found.**:

Equation 21 reprezintă o corelație pentru coeficientul de transfer de căldură prin convecție (h_c). Această relație este o corelație empirică și este folosită pentru a calcula coeficientul de transfer de căldură prin convecție în conducte, luând în considerare proprietățile fizice ale fluidului și condițiile de flux.

Equation 21 Coeficientul de transfer de căldură prin convecție în conducte

$$h_c = C' \cdot D \cdot k \cdot \left(\frac{w_{avg} \rho}{\mu} \right)^{0,8}$$

Modelarea schimbului de căldură cu peretele după Woschini

Modelul Woschini este unul dintre cele mai utilizate modele pentru a estima acest coeficient. Modelul se bazează pe o corelație empirică care ține cont de condițiile de funcționare ale motorului și de proprietățile gazului Equation 22.

Equation 22 Ecuația schimbului de căldură cu peretele după Woschini

$$h_c = 127,93 \cdot D \cdot p^{0,8} \cdot T^{-0,53} \cdot \left[C_1 S_{pm} + C_2 \frac{V_d \cdot T_{IVC}}{p_{IVC} V_{IVC}} (p - p_m) \right]^{0,8}$$

Modelarea schimbului de căldură cu peretele al companiei AVL

În contextul modelului AVL, coeficientul de transfer termic va fi maximul dintre metoda Woschini și al doilea termen al ecuației Equation 23.

Equation 23 Ecuația transferului termic al modelului AVL

$$h_c = \max \left\{ h_{c \text{ Woschini}}; 0,013D \cdot p^{0,8} \cdot T^{-0,53} \left[14 \left(\frac{d_{in}}{D} \right)^2 |V_{in}| \right]^{0,8} \right\}$$

3.7 Lucrul mecanic

Prin urmare lucrul mecanic îl putem descrie sub ecuație diferențială cu ajutorul Equation 24.

Equation 24 Lucrul mecanic în funcție de unghiul arborelui cotit

$$\frac{dW_V}{d\varphi} = -p \frac{dV}{d\varphi}$$
$$s(\varphi) = r + l - l \cdot \left(\lambda_s \cos\varphi + \sqrt{1 - \lambda_s^2 \sin^2 \varphi} \right)$$

În particular, aceasta este o expresie diferențială care descrie schimbarea lucrului mecanic dW_V în funcție de schimbarea volumului dV , având în vedere presiunea p . Aceasta este o formă diferențială a lucrului mecanic în termodinamică, unde lucrul mecanic W este dat de:

Equation 25 Lucrul mecanic, ecuația generală

$$dW_V = -p dV$$

Presiunea p acționează asupra unui volum V pentru a produce lucrul mecanic W . Semnul negativ indică faptul că, atunci când volumul crește ($dV > 0$), sistemul efectuează lucrul mecanic asupra mediului exterior ($dW_V < 0$), și invers, când volumul scade ($dV < 0$), mediul exterior efectuează lucrul mecanic asupra sistemului ($dW_V > 0$).

3.8 Fluxul de entalpie

Entalpia specifică se determină cu Equation 26.

Equation 26 Entalpia specifică

$$h = u + RT$$

Equation 27 descrie debitul masic \dot{m}_{in} al unui gaz care trece printr-un orificiu sau o duză în funcție de condițiile de intrare și de presiunea.

Equation 27 Ecuțiile debitelor masice intrare-ieșire prin supape

$$\dot{m}_{in} = \mu_{in} A_{in} \frac{p_1}{\sqrt{RT_{in}}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_{in}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_{in}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

$$\dot{m}_{ex} = \mu_{ex} A_{ex} \frac{p_1}{\sqrt{RT}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{p_{ex}}{p} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{ex}}{p} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

Aria secțiunii transversale poate fi calculată conform Equation 28.

Equation 28 Aria secțiunii transversale

$$A_{in} = z_{in} x_{in} \cos \beta_{in} d_{min} \cdot \pi$$

$$d_{min} = d_{in} + 2 \cdot a$$

$$a = b \cdot \cos \beta_{in}$$

$$b = \frac{1}{2} x_{in} \sin \beta_{in}$$

$$d_{min} = d_{in} + x_{in} \sin \beta_{in} \cdot \cos \beta_{in}$$

$$A_{in} = z_{IV} \cdot x_{in} \cdot \cos \beta_{in} (d_{in} + x_{in} \sin \beta_{in} \cdot \cos \beta_{in}) \cdot \pi$$

3.9 Simularea computerizată, validarea modelului și analiza erorilor

1. Pentru combustibilul de referință:

- Valoare măsurată: 57.7 Nm Figure 47, Figure 51
- Valoare simulată: 56.1 Nm (conform simulării) **Error! Reference source not found.**

$$\text{Abateră relativă} = \left| \frac{57,7 - 56,1}{57,7} \right| \cdot 100 [\%] \approx 2,7\%$$

2. Pentru amestecul de 30% terebentină și 70% motorină:

- Valoare măsurată: 60.7 Nm Figure 47

- Valoare simulată: 58.5 Nm (conform simulării) **Error! Reference source not found.**

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{60,7 - 58,5}{60,7} \right| \cdot 100 [\%] \approx 3,6\%$$

3. Pentru amestecul de 30% ulei de eucalipt și 70% motorină:

- Valoare măsurată: 54.6 Nm Figure 51
- Valoare simulată: 54.7 Nm (conform simulării) **Error! Reference source not found.**

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{54,6 - 54,7}{54,6} \right| \cdot 100 [\%] \approx 0,18\%$$

1. Combustibil de referință:

- Valoarea măsurată: 13.63 kW Figure 48
- Valoarea simulată: 13.25 kW

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{13,63 - 13,25}{13,63} \right| \cdot 100 [\%] \approx 2,7\%$$

2. Amestec de 30% terebentină și 70% diesel (30T 70D):

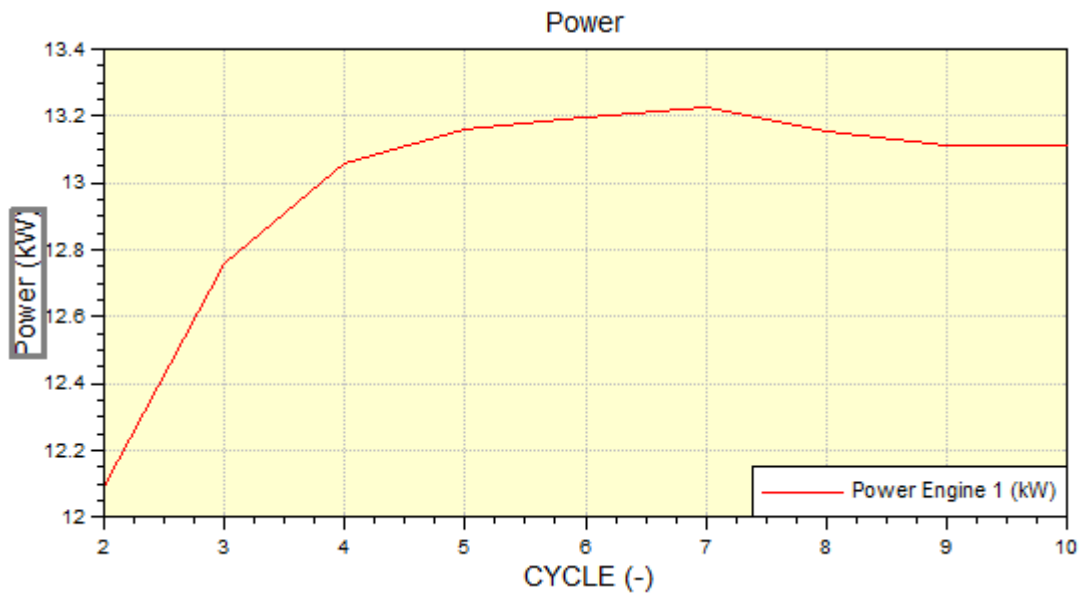
- Valoarea măsurată: 14.31 kW Figure 48
- Valoarea simulată: 13.8 kW

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{14,31 - 13,8}{14,31} \right| \cdot 100 [\%] \approx 3,56\%$$

3. Amestec de 30% ulei de eucalipt și 70% motorină (30EU 70D):

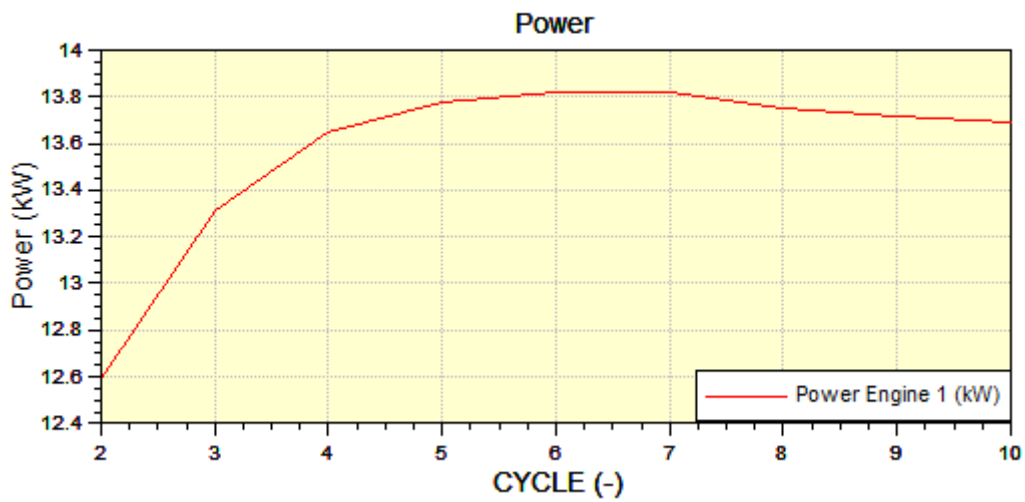
- Valoarea măsurată: 12.86 kW
- Valoarea simulată: 12.8 kW

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{12,86 - 12,8}{12,86} \right| \cdot 100 [\%] \approx 0,46\%$$

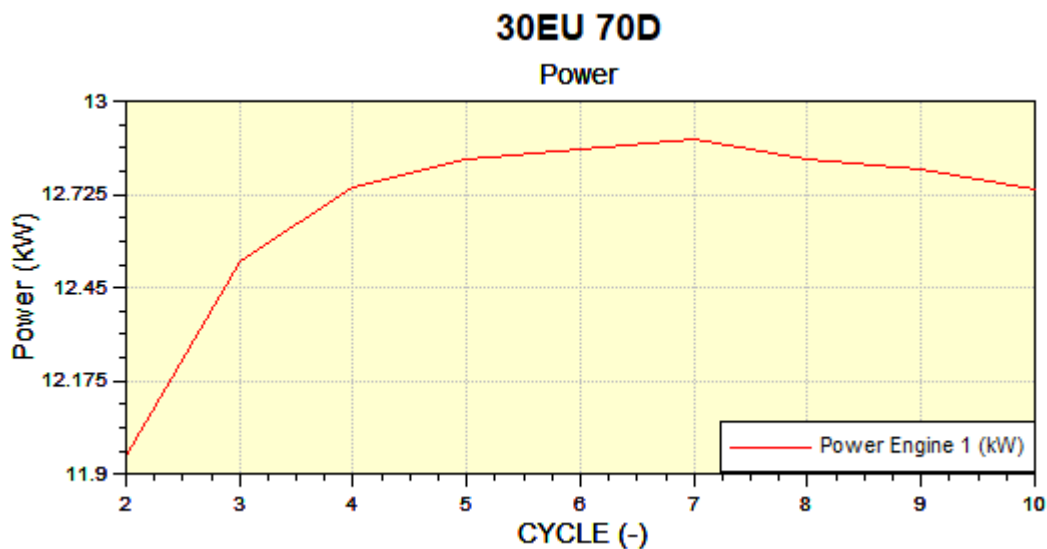


a)

30T 70D



b)



c)

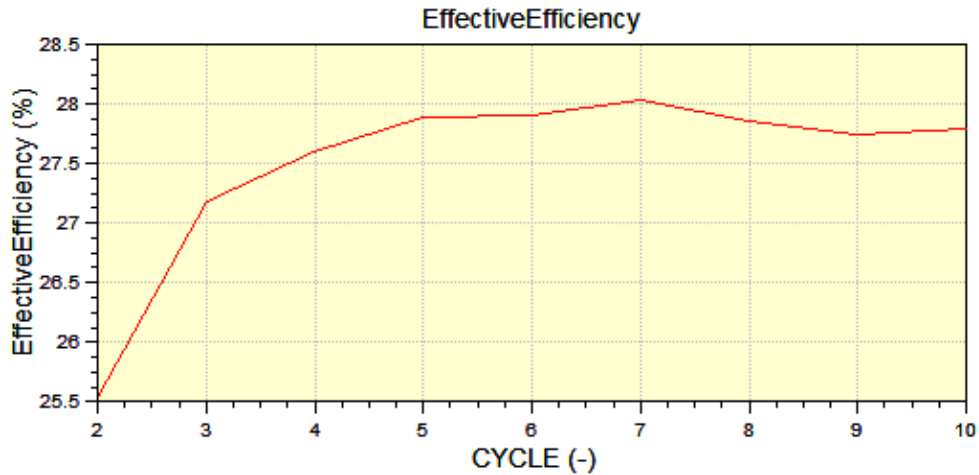
Figure 61 Variația puterii rezultate din simularea computerizată

Validarea modelului numeric: Cu abateri relative de 2.7%, 3.56% și 0.46%, modelul numeric pare să fie o reprezentare precisă a realității experimentale. Aceste abateri mici indică faptul că modelul numeric poate fi considerat valid pentru previziunile și analizele ulterioare în ceea ce privește puterea produsă de motor.

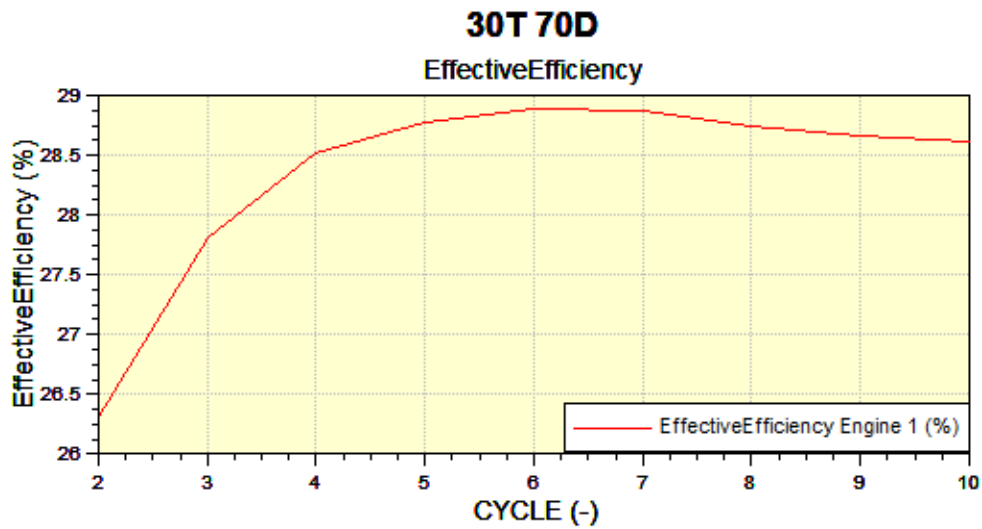
Eficiența termică la frână (Brake Thermal Efficiency, BTE) și consumul specific de combustibil la frână (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC) sunt doi parametri esențiali în evaluarea performanței unui motor cu ardere internă. În esență, acești doi parametri sunt interconectați și oferă informații complementare despre eficiența energetică a motorului.

Figure 62 a) ilustrează eficiența termică la frână (BTE) pentru combustibilul de referință, motorina. Se observă că eficiența începe de la 25,5% și crește rapid până la aproximativ 27.7% între ciclurile 2 și 4. Această creștere rapidă poate fi atribuită optimizării proceselor de ardere inițiale, unde combustibilul este utilizat mai eficient pe măsură ce motorul ajunge la o temperatură și o presiune de funcționare optimă. Ulterior, eficiența continuă să crească ușor până la 28% la ciclul 6, după care se stabilizează în jurul acestei valori până la ciclul 10, sugerând că motorul a atins un punct de echilibru în care eficiența combustiei este maximă și constantă. Figure 62 b) prezintă eficiența termică la frână pentru un amestec de 30% terebentină și 70% motorină. Eficiența crește rapid la 28,5% până la ciclul 4. Această creștere inițială rapidă este similară cu cea observată pentru motorină, indicând o bună compatibilitate a terebentinei în amestec. După ciclul 7, eficiența scade ușor și se stabilizează în jurul valorii de 28,5%, reflectând un punct de echilibru similar cu motorina pură, dar la o eficiență ușor mai mare. Figure 62 c) arată eficiența termică la frână pentru un amestec de 30% ulei de eucalipt și 70% motorină. Eficiența începe de la 25% și crește rapid la 27% până la ciclul 4. Creșterea inițială rapidă este asemănătoare cu cea

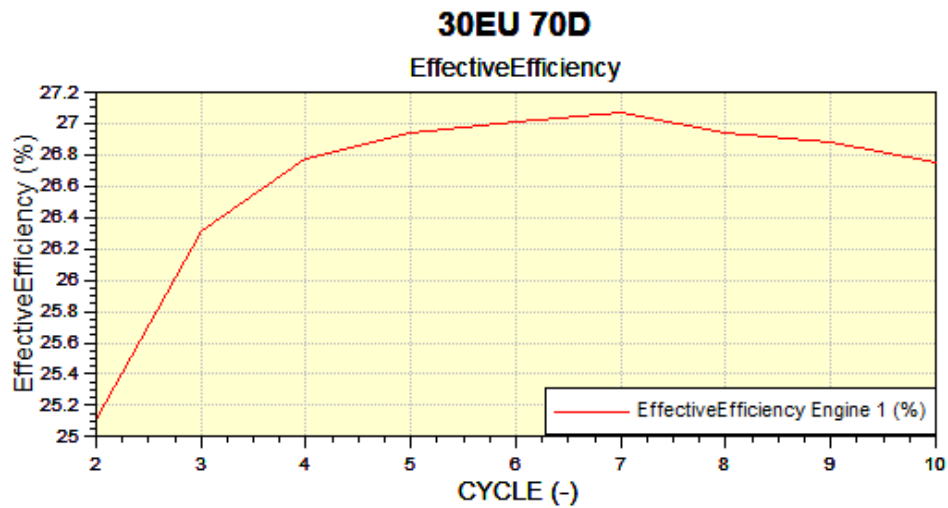
a celorlalți combustibili, indicând faptul că uleiul de eucalipt poate fi utilizat eficient în amestec. Eficiența continuă să crească, atingând un maxim de 27.1% la ciclul 7. Această valoare maximă este mai mică decât cea obținută cu amestecul de terebentină și motorină, sugerând că, deși uleiul de eucalipt nu îmbunătățește eficiența față de motorina pură și nu este la fel de eficient ca terebentina.



a)



b)



c)

Figure 62 Variația eficienței efective, rezultate simulate

Valorile măsurate pentru eficiența termică la frână sunt:

- Diesel (combustibil de referință): 28,1 % Figure 50 Figure 50Figure 53
- Amestec terebentină: 29,5 % Figure 50
- Amestec ulei de eucalipt: 26,5 % Figure 53

Valorile simulate pentru vârful BTE sunt:

- Diesel (combustibil de referință): 28 % Figure 62 a)
- Amestec terebentină: 29 % Figure 62 b)
- Amestec ulei de eucalipt: 28 % Figure 62 c)

Comparând cele trei tipuri de combustibili, observăm că:

- **Motorină Pură:** valoarea cea mai scăzută este de 302 g/kWh după ciclul 4 indică o eficiență decentă și constantă a consumului de combustibil.
- **Amestec de Terebentină:** Cu o valoare de 289 g/kWh după ciclul 4, acest amestec arată cea mai mare eficiență a consumului de combustibil dintre cele trei, demonstrând beneficiile terebentinei în optimizarea performanței motorului.
- **Amestec de Ulei de Eucalipt:** Stabilizarea la 311 g/kWh după ciclul 4 sugerează o eficiență mai scăzută a consumului de combustibil, reflectând limitările acestui amestec în comparație cu motorina pură și amestecul de terebentină.

Eficiența consumului de combustibil, reprezentată prin BSFC, depinde de mai mulți factori, inclusiv calitatea arderii, raportul aer-combustibil și proprietățile chimice ale combustibilului. Un combustibil cu proprietăți de ardere mai bune va avea un BSFC mai mic, deoarece va produce mai multă energie mecanică pentru aceeași cantitate de combustibil.

Terebentina: Conține compuși care pot îmbunătăți arderea, rezultând într-o utilizare mai eficientă a combustibilului și, astfel, un BSFC mai mic.

Uleiul de Eucalipt: Poate avea caracteristici de ardere care nu sunt la fel de eficiente, ducând la o utilizare mai puțin optimă a combustibilului și un BSFC mai mare.

Valorile măsurate pentru consumul specific de combustibil la frână sunt:

- Diesel (combustibil de referință): 301.4 g/kWh Figure 49 Figure 52
- Amestec terebentină: 283.7 g/kWh Figure 49
- Amestec ulei de eucalipt: 317.2 g/kWh Figure 52

Valorile simulate pentru vârful BSFC sunt:

- Diesel (combustibil de referință): 302 g/kWh **Error! Reference source not found.** a)
- Amestec terebentină: 289 g/kWh **Error! Reference source not found.** b)
- Amestec ulei de eucalipt: 311 g/kWh **Error! Reference source not found.** c)

Calculul abaterii relative

Pentru Diesel (combustibil de referință):

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{301.4 - 302}{301.4} \right| \cdot 100 [\%] \approx 0,2\%$$

Pentru amestecul de terebentină:

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{283.7 - 289}{283.7} \right| \cdot 100 [\%] \approx 1,86\%$$

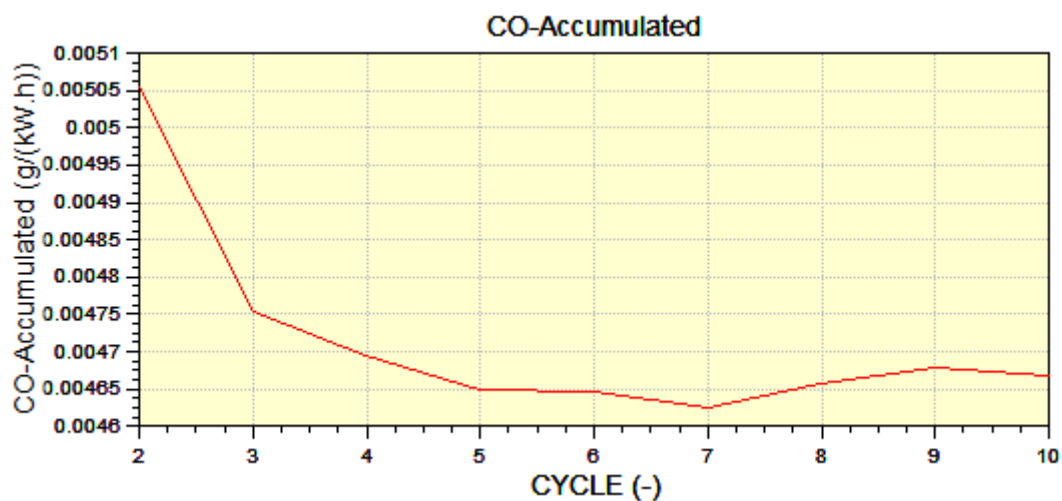
Pentru amestecul de ulei de eucalipt:

$$\text{Abaterea relativă} = \left| \frac{317.2 - 311}{317.2} \right| \cdot 100 [\%] \approx 1,95\%$$

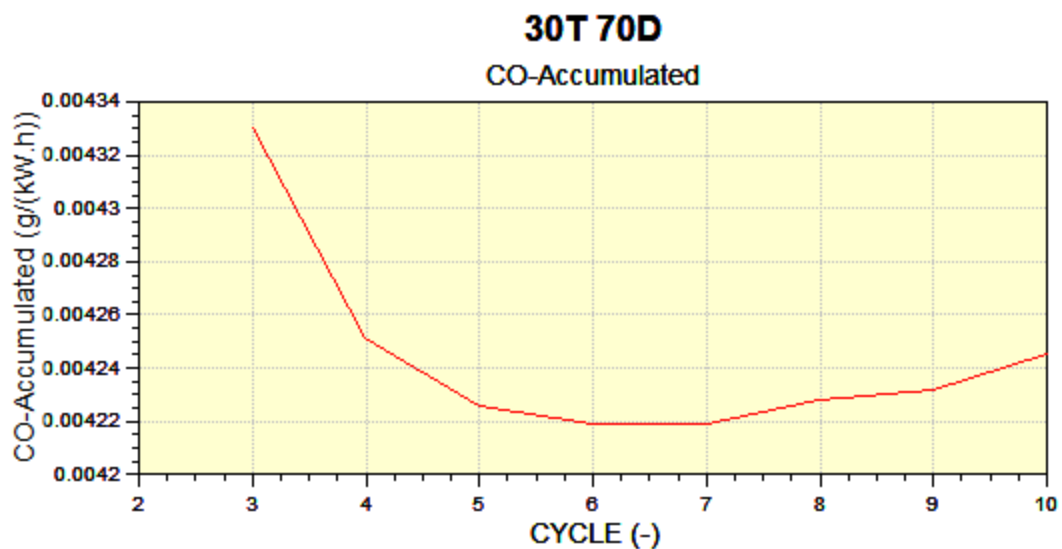
Pe baza abaterilor relative calculate, toate valorile sunt sub 5%, ceea ce sugerează o precizie ridicată a modelului numeric. Prin urmare, pot concluziona că modelul numeric este valid și poate fi folosit pentru a prezice BSFC pentru combustibilii analizați (motorină pură, amestec de 30% terebentină și 70% motorină, amestec de 30% ulei de eucalipt și 70% motorină).

Analizând graficele furnizate în Figure 63, putem observa cum valorile emisiilor acumulate de CO variază în funcție de tipul de combustibil utilizat. Figure 63 a), reprezentând combustibilul de referință, arată valori inițiale de CO acumulate de aproximativ 0.00505 g/kWh, care scad rapid și se stabilizează în jurul valorii de 0.00465 g/kWh. În cazul Figure 63 b), care reprezintă amestecul de 30% terebentină și 70% motorină, valorile CO acumulate încep de la aproximativ 0.00433 g/kWh și scad până la aproximativ 0.00422 g/kWh, indicând o ardere mai completă sau mai eficientă comparativ cu combustibilul de referință. În cel de-al treilea grafic din Figure 63 c), pentru amestecul de 30% ulei de eucalipt și 70% motorină, valorile de CO acumulate sunt intermediare, pornind de la aproximativ 0.00495 g/kWh și scăzând până la aproximativ 0.00455 g/kWh.

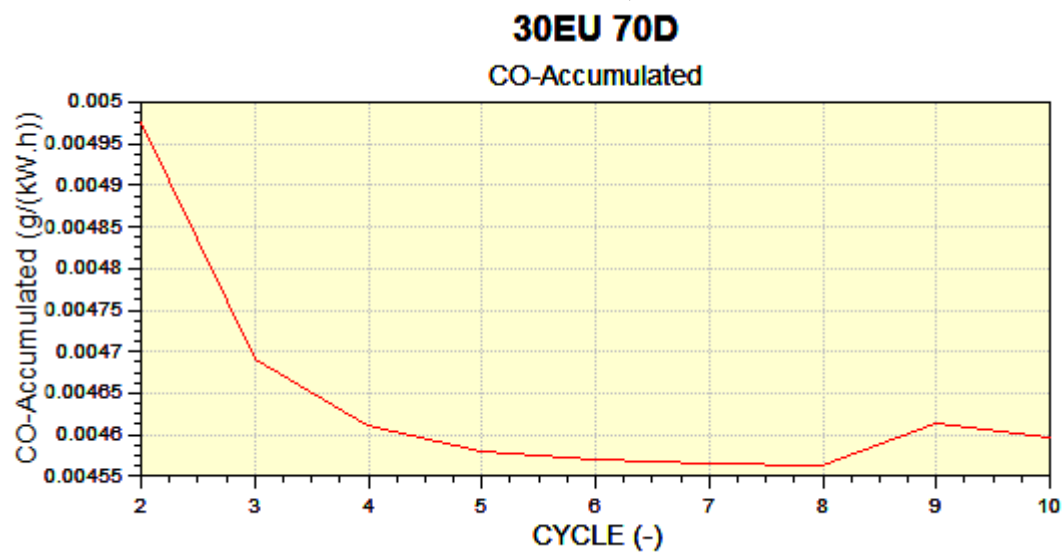
Aceste observații sugerează că amestecul de terebentină produce cele mai mici emisii de CO, în timp ce combustibilul de referință are cele mai mari valori inițiale. Absența datelor de CO în aparatul AVL poate fi explicată prin emisiile foarte mici, sub limitele de detecție ale aparatului, rezultând din eficiența arderei motoarelor diesel, care funcționează cu un exces de aer. Motoarele diesel, datorită raportului ridicat aer/combustibil și temperaturilor și presiunilor ridicate de ardere, favorizează oxidarea completă a combustibilului, ceea ce duce la emisii foarte scăzute de CO. În plus, calitatea combustibililor alternativi, precum terebentina și uleiul de eucalipt, poate contribui la o ardere mai completă, reducând și mai mult emisiile de CO. Astfel, utilizarea combustibililor alternativi pare să influențeze pozitiv emisiile de CO, în timp ce aparatul de măsură are limitări în detectarea concentrațiilor foarte scăzute de CO.



a)



b)



c)

Figure 63 Emisii de monoxid de carbon, rezultate simulate

Capitolul 4. Concluzii și contribuții personale

4.1 Concluzii finale

Concluziile finale reprezintă sinteza esențială a demersului nostru investigativ, reunind principalele descoperiri și reflecții care au rezultat din analiza aprofundată a temei abordate. Acest capitol are rolul de a consolida înțelegerea cititorului asupra importanței și impactului subiectului studiat, evidențiind atât realizările și limitele cercetării, cât și direcțiile viitoare de explorare. Prin intermediul concluziilor finale, ne propunem să reafirmăm relevanța problematicii discutate și să subliniem contribuția adusă domeniului respectiv, oferind totodată o perspectivă integrată asupra întregului studiu.

Performanțe și proprietăți superioare: Studiile experimentale au evidențiat că biocombustibilii, în special cei oxigenați, asigură o ardere mai completă datorită conținutului de oxigen, oferind performanțe comparabile sau chiar superioare motorinei în termeni de putere și cuplu motor. În plus, biocombustibilii prezintă proprietăți de lubrifiere superioare, ceea ce duce la o uzură redusă a componentelor de injecție ale motorului, prelungind astfel durata de viață a acestora.

Eficiența termică și consumul specific de combustibil: Amestecurile de terebentină-diesel au înregistrat o creștere a eficienței termice și o scădere a consumului specific de combustibil (BSFC), indicând o eficiență crescută a motorului. În contrast, utilizarea amestecurilor de eucalipt-diesel a condus la o scădere a eficienței termice și la o creștere a BSFC, sugerând o combustie mai puțin eficientă comparativ cu motorina pură.

Emisiile poluante: Utilizarea biocombustibililor a avut un impact semnificativ asupra emisiilor poluante. Amestecurile de ulei de eucalipt-diesel și terebentină-diesel au redus considerabil emisiile de fum, iar emisiile de CO₂ au fost mai mici pentru amestecurile eucalipt-diesel și relativ constante pentru cele terebentină-diesel. De asemenea, emisiile de oxizi de azot (NO_x) au scăzut în cazul amestecurilor eucalipt-diesel, datorită temperaturilor mai scăzute de ardere și prezenței compușilor specifici din uleiul de eucalipt care inhibă formarea NO_x.

Hidrocarburi narse (HC): Emisiile de hidrocarburi narse au crescut la turații scăzute ale motorului pentru amestecurile de biocombustibili, datorită combustiei incomplete la aceste rotații. Totuși, la turații mai mari, emisiile de HC au scăzut, mai ales pentru amestecurile eucalipt-diesel, datorită îmbunătățirii turbulențelor și a amestecului aer-combustibil în camera de ardere, care favorizează o ardere mai completă.

4.2 Contribuții personale

În cadrul primului an de studiu doctoral, m-am concentrat pe realizarea unei revizuirii exhaustive a literaturii de specialitate. Această etapă a avut ca obiectiv principal identificarea metodologiilor de cercetare relevante, evaluarea lucrărilor anterioare din domeniu și sintetizarea rezultatelor obținute.

Metodologia de cercetare

Pentru a structura și organiza în mod eficient revizuirea literaturii, am adoptat o metodologie sistematică, bazată pe următoarele etape esențiale:

1. **Identificarea surselor relevante:** Am utilizat baze de date academice precum PubMed, Scopus și Google Scholar, Science Direct pentru a găsi articole, lucrări de conferință și

cărți relevante pentru domeniul meu de cercetare. Am definit cuvinte cheie specifice și criterii de includere și excludere pentru a selecta cele mai relevante lucrări.

2. **Analiza critică a literaturii:** Fiecare lucrare identificată a fost evaluată critic, punând accent pe metodologiile de cercetare folosite, validitatea și fiabilitatea datelor, precum și relevanța rezultatelor obținute pentru tema mea de cercetare.
3. **Sinergia rezultatelor:** Am sintetizat și integrat rezultatele studiilor anterioare, identificând atât convergențele, cât și divergențele dintre acestea. Am subliniat punctele forte și limitările fiecărei lucrări pentru a înțelege mai bine peisajul actual al cercetării în domeniu.

Lucrări anterioare în domeniu

Revizuirea literaturii a relevat un număr semnificativ de studii relevante, care pot fi clasificate în mai multe categorii distincte:

- **Studii teoretice:** Lucrările care oferă o fundamentare teoretică solidă pentru tema de cercetare, incluzând modele conceptuale și ipoteze de lucru.
- **Studii empirice:** Cercetările care au utilizat date experimentale sau observaționale pentru a testa ipotezele și a valida modelele teoretice.
- **Recenzii și meta-analize:** Studii care au analizat și sintetizat rezultatele unui număr mare de cercetări individuale pentru a oferi o imagine de ansamblu asupra progresului și tendințelor în domeniu.

Rezultate obținute

Prin această revizuire am reușit să identific mai multe direcții de cercetare promițătoare și lacune semnificative în literatura de specialitate:

- **Metodologii inovative:** Am observat un interes crescut pentru dezvoltarea de metodologii noi, capabile să abordeze complexitatea și dinamica fenomenelor studiate.
- **Rezultate contradictorii:** În anumite subdomenii, rezultatele studiilor sunt contradictorii, sugerând necesitatea unor cercetări suplimentare pentru a clarifica aceste neconcordanțe.
- **Necesitatea interdisciplinarității:** Multe studii au evidențiat beneficiile abordărilor interdisciplinare, care combină perspective și metode din diverse domenii pentru a obține o înțelegere mai cuprinzătoare a problemelor de cercetare.

Metodologia de Cercetare: Parte Experimentală

În cadrul celui de-al doilea an de studiu doctoral, am desfășurat activitățile experimentale la Universitatea Minho din Portugalia, sub îndrumarea profesorilor Jorge Martins și Francisco Brito. Această perioadă a fost esențială pentru stabilirea metodologiei de cercetare și pentru implementarea etapelor practice ale experimentelor, după cum urmează:

1. Stabilirea Metodologiei de Cercetare

Sub îndrumarea profesorilor Jorge Martins și Francisco Brito, am dezvoltat o metodologie de cercetare riguroasă, adaptată specificităților experimentului meu. Am definit în detaliu parametrii experimentali și procedurile de calibrare, asigurându-mă că fiecare aspect al metodologiei este în concordanță cu standardele academice și științifice internaționale.

2. Calibrarea Senzorilor

Am realizat calibrarea precisă a senzorilor, un proces esențial pentru asigurarea acurateții datelor colectate. Am utilizat metode de calibrare pentru fiecare tip de senzor, adaptându-le la condițiile specifice experimentului nostru. Această etapă a inclus ajustarea și testarea repetată a senzorilor pentru a garanta o eroare minimă în înregistrarea datelor.

3. Funcționarea Motorului Experimental

Am reușit să pun în funcțiune motorul experimental, un pas crucial în desfășurarea cercetării. Aceasta a presupus verificarea și ajustarea tuturor componentelor mecanice și electronice, asigurând funcționarea optimă a motorului în condiții de siguranță și eficiență.

Modelarea Numerică: Simularea Motorului cu Ardere Internă Zero-Dimensională

În cadrul activităților desfășurate în România, la Universitatea Dunărea de Jos, am realizat modelarea numerică a motorului cu ardere internă zero-dimensională. Această etapă a inclus dezvoltarea și implementarea modelului numeric, validarea datelor empirice și redactarea lucrării științifice. Contribuțiile personale în această direcție sunt detaliate mai jos:

1. Modelarea Numerică

Am dezvoltat un model numeric zero-dimensional al motorului cu ardere internă, utilizând tehnici avansate de simulare și programare. Modelarea numerică zero-dimensională presupune reducerea motorului la un sistem de ecuații diferențiale care descriu comportamentul termodinamic și cinetic al proceselor. Aceasta a implicat:

- **Formularea ecuațiilor fundamentale:** Am derivat ecuațiile de bilanț energetic și de masă care guvernează funcționarea motorului, integrând parametrii de funcționare relevanți, precum presiunea, temperatura și volumul.
- **Implementarea algoritmilor de soluționare:** Am utilizat algoritmi numerici eficienți pentru soluționarea ecuațiilor diferențiale, asigurând convergența și stabilitatea soluțiilor obținute.

2. Validarea Datelor Empirice

Validarea modelului numeric a constituit o etapă esențială pentru asigurarea acurateței și fiabilității simulărilor. Am comparat rezultatele obținute din modelul numeric cu datele empirice colectate în cadrul experimentelor desfășurate anterior. Această validare a inclus:

- **Compararea parametrilor de performanță:** Am comparat parametrii de performanță, cum ar fi eficiența termică, puterea dezvoltată și consumul specific de combustibil, obținuți prin simulare cu cei mășurați experimental.

4.3 Limitările studiului

Tipurile de combustibili studiați: Studiul se va concentra doar pe câteva tipuri specifice de combustibili alternativi (terebentină și ulei de eucalipt în amestec cu motorina). Alți combustibili alternativi, cum ar fi gazele naturale comprimate (CNG) sau combustibilii sintetici, nu vor fi incluși în această cercetare.

Scală experimentală: Experimentele sunt realizate pe motoare de dimensiuni mici și medii, utilizate în vehicule de pasageri și utilitare ușoare. Motoarele pentru vehicule grele și aplicațiile industriale sunt discutate doar teoretic și nu vor fi testate experimental.

Aspectele tehnice abordate: Cercetarea se va axa pe performanțele de ardere și emisii ale combustibililor alternativi. Alte aspecte, cum ar fi costurile de producție, logistică, disponibilitatea la scară largă sau impactul asupra infrastructurii existente, vor fi menționate doar sumar și nu vor fi analizate în detaliu.

Capitolul 5. Direcții viitoare de cercetare

Domeniul motoarelor cu ardere internă și al biocombustibililor continuă să fie unul dinamic și deosebit de relevant, având în vedere necesitatea reducerii impactului asupra mediului și a dependenței de combustibilii fosili. Direcțiile viitoare de cercetare se concentrează pe inovații tehnologice și metodologice care să îmbunătățească performanța motoarelor, să optimizeze utilizarea biocombustibililor și să promoveze sustenabilitatea. Printre aceste direcții se numără:

1. Optimizarea Proceselor de Ardere

- **Îmbunătățirea eficienței termice:** Cercetările viitoare se concentrează pe optimizarea proceselor de ardere pentru a crește eficiența termică a motoarelor cu ardere internă. Acest lucru poate fi realizat prin implementarea sistemelor de control avansate ale procesului de combustie.

2. Dezvoltarea și Caracterizarea Biocombustibililor

- **Biocombustibili de a doua și a treia generație:** Cercetările trebuie să se îndrepte către biocombustibilii de a doua generație (obținuți din biomasă lignocelulozică, paie, hârtie etc) și de a treia generație (biocombustibili obținuți din alge). Aceste surse de biocombustibil prezintă un potențial considerabil pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și pentru evitarea competiției cu resursele alimentare [44].

3. Integrarea Sistemelor Hibrid și Electrificarea Parțială

- **Motoare hibride:** Cercetările viitoare explorează integrarea motoarelor cu ardere internă în sisteme hibride, care combină motorul cu ardere internă cu un sistem electric.
- **Electrificarea parțială:** Studiile privind electrificarea parțială a vehiculelor, cum ar fi sistemele de pornire-stop și recuperarea energiei de frânare, sunt esențiale pentru a reduce consumul de combustibil și emisiile poluante.

4. Modelarea și Simularea Avansată

- **Modelare multi-dimensională 3D:** Dezvoltarea și utilizarea modelelor multi-dimensionale avansate pentru simularea proceselor de ardere și a interacțiunilor complexe din motoarele cu ardere internă este o direcție de cercetare promițătoare. Aceste modele pot ajuta la optimizarea designului motorului și a parametrilor de operare, oferind o înțelegere profundă a fenomenelor termodinamice și cinetice.

5. Investigarea Materialelor Avansate

- **Materiale rezistente la temperaturi înalte (acoperiri ceramice):** Cercetările privind dezvoltarea și utilizarea materialelor avansate care pot rezista la temperaturi și presiuni înalte pentru creșterea durabilității și eficienței motoarelor. Aceste materiale pot include aliaje metalice avansate, ceramici și compozite.

6. Evaluarea performanțelor și optimizarea parametrilor de funcționare în timp real

- Dezvoltarea standurilor experimentale pentru evaluarea performanțelor unui motor cu aprindere prin scânteie/motor cu aprindere prin comprimare, precum și evaluarea emisiilor poluante ale acestora (Anexa 2).

Lista publicațiilor

Web of Science

1. **Chivu, R. M.**, Martins, J., Popescu, F., Gonçalves, M., Uzuneanu, K., Frățița, M., & Brito, F. P. (2024). Assessment of Engine Performance and Emissions with Eucalyptus Oil and Diesel Blends. *Energies*, 17(14), 3528. <https://doi.org/10.3390/EN17143528>
2. **Chivu, R. M.**, Martins, J., Popescu, F., Uzuneanu, K., Ion, I. V., Goncalves, M., Codău, T.-C., Onofrei, E., & Brito, F. P. (2023). Turpentine as an Additive for Diesel Engines: Experimental Study on Pollutant Emissions and Engine Performance. *Energies 2023, Vol. 16, Page 5150*, 16(13), 5150. <https://doi.org/10.3390/EN16135150>
3. Mocanu, G., Iosifescu, C., Ion, I. V., Popescu, F., Frățița, M., & **Chivu, R. M.** (2024). Energy Analysis of Waste Heat Recovery Using Supercritical CO2 Brayton Cycle for Series Hybrid Electric Vehicles. *Energies*, 17(11). <https://doi.org/10.3390/EN17112494>

Scopus/BDI

4. Francisco P. Brito **Chivu Robert** Joaquim da Costa Maria Margarida Gonçalves Jorge Martins. (n.d.). *Workshop de Combustíveis Sustentáveis Testing Alternative Fuels and Internal Combustion Engines at MERICs LaMoTA Test facilities*. <https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.2.20499.86567>
5. **Chivu Robert**, Jorge Martins, Florin Popescu, Ion V. Ion and Fratita Michael. (n.d.). *MIXTURES OF ESSENTIAL OILS AND ALCOHOLS WITH DIESEL OIL USE AND IMPACT ON ENGINE PERFORMANCE AND POLLUTANT EMISSIONS. A REVIEW*. https://doi.org/DOI:10.36910/conf_avto.v1i1.1395
6. Popescu, F., **Chivu, R. M.**, Uzuneanu, K., & Ion, I. (2022a). Design and finite element analysis of a circular steel profile frame using Autodesk Inventor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1262(1), 012069. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1262/1/012069>
7. Popescu, F., **Chivu, R. M.**, Uzuneanu, K., & Ion, I. (2022b). Design and finite element analysis of a lower arm using CATIA V5. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1262(1), 012070. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1262/1/012070>
8. Ion V. Ion, Răzvan Mahu, Florin Popescu, Gabriel Mocanu, **Robert Chivu** PREDICTION OF TAR FORMATION IN A BIOMASS HEATING BOILER // Вестник КГЭУ. 2023. №1 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prediction-of-tar-formation-in-a-biomass-heating-boiler> (дата обращения: 29.07.2024).

Bibliografie selectivă

- [1] E. Poitrat, "The Potential of Liquid Biofuels in France," *World Renewable Energy Congress VI*, pp. 1294–1299, Jan. 2000, doi: 10.1016/B978-008043865-8/50268-3.
- [2] J. Mokyr, "The Industrial Revolution and the economic history of technology: Lessons from the British experience, 1760–1850☆," *The Quarterly Review of Economics and Finance*, vol. 41, no. 3, pp. 295–311, Sep. 2001, doi: 10.1016/S1062-9769(01)00084-9.
- [3] A. M. Ruffing, R. W. Davis, and T. W. Lane, "Advances in engineering algae for biofuel production," *Curr Opin Biotechnol*, vol. 78, p. 102830, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.COPBIO.2022.102830.
- [4] E. Kouhgard, S. Zendeheboudi, O. Mohammadzadeh, A. Lohi, and I. Chatzis, "Current status and future prospects of biofuel production from brown algae in North America: Progress and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 172, p. 113012, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.RSER.2022.113012.
- [5] S. Dhiman and G. Mukherjee, "Utilization of food waste for biofuel production: A biorefining perspective," *Mater Today Proc*, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.12.009.
- [6] A. Mohanty, S. Ajmera, S. Chinnam, V. Kumar, R. K. Mishra, and B. Acharya, "Pyrolysis of waste oils for biofuel production: An economic and life cycle assessment," *Fuel Communications*, vol. 18, p. 100108, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.JFUECO.2024.100108.
- [7] M. Pires *et al.*, "Heterogeneous Catalytic Conversion of Terpenes into Biofuels: An Open Pathway to Sustainable Fuels," *Energies 2023, Vol. 16, Page 2526*, vol. 16, no. 6, p. 2526, Mar. 2023, doi: 10.3390/EN16062526.
- [8] N. Waramit, J. Romkaew, W. Prathumyot, and S. Jantawong, "Effect of physiographic type and harvesting age on biomass yield, chemical composition, and carbon sequestration of mangrove plantations for biofuel feedstock production," *Ind Crops Prod*, vol. 200, p. 116812, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.INDCROP.2023.116812.
- [9] V. Larnaudie *et al.*, "Life cycle environmental and cost evaluation of renewable diesel production," *Fuel*, vol. 279, p. 118429, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.118429.
- [10] N. Mrad, E. G. Varuvel, M. Tazerout, and F. Aloui, "Effects of biofuel from fish oil industrial residue – Diesel blends in diesel engine," *Energy*, vol. 44, no. 1, pp. 955–963, Aug. 2012, doi: 10.1016/J.ENERGY.2012.04.056.
- [11] E. Srivastava, S. Kesharvani, A. Agrawal, and G. Dwivedi, "Binary blending of different types of biofuels with diesel, and study of engine performance, combustion and exhaust emission characteristics," *Mater Today Proc*, vol. 78, pp. 378–389, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.10.177.
- [12] P. D. Kabudke, Y. R. Kharde, and R. A. Parkhe, "Experimental investigation on performance of cotton seed biofuel blended with diesel on variable compression ratio diesel engine," *Mater Today Proc*, vol. 72, pp. 846–852, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.09.078.
- [13] A. V. Kale and A. Krishnasamy, "Experimental study on combustion, performance, and emission characteristics of a homogeneous charge compression ignition engine fuelled with multiple biofuel-gasoline blends," *Energy*, vol. 288, p. 129621, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.ENERGY.2023.129621.

- [14] S. Kumaravel *et al.*, "Experimental investigations on in-cylinder flame and emission characteristics of butanol-gasoline blends in SI engine using combustion endoscopic system," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 49, p. 102449, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.TSEP.2024.102449.
- [15] A. Biswal, S. Gedam, S. Balusamy, and P. Kolhe, "Effects of using ternary gasoline-ethanol-LPO blend on PFI engine performance and emissions," *Fuel*, vol. 281, p. 118664, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.118664.
- [16] L. Karikalan and M. Chandrasekaran, "Performance and pollutants analysis on diesel engine using blends of Jatropha Biodiesel and Mineral Turpentine as fuel," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 14, no. 2, pp. 323–330, 2017, doi: 10.1007/s13762-016-1147-4.
- [17] K. Loganathan and C. Manoharan, "Evaluation of performance and emission features of jatropha biodiesel-turpentine blend as green fuel," *Thermal Science*, vol. 21, no. 1, pp. 615–625, 2017, doi: 10.2298/TSCI160625271L.
- [18] C. Safi, B. Zebib, O. Merah, P. Y. Pontalier, and C. Vaca-Garcia, "Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35, pp. 265–278, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.007.
- [19] M. Gorgich, A. A. Martins, T. M. Mata, and N. S. Caetano, "Composition, cultivation and potential applications of *Chlorella zofingiensis* – A comprehensive review," *Algal Res*, vol. 60, p. 102508, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.ALGAL.2021.102508.
- [20] S. Zhu *et al.*, "Cultivation of *Chlorella vulgaris* on unsterilized dairy-derived liquid digestate for simultaneous biofuels feedstock production and pollutant removal," *Bioresour Technol*, vol. 285, p. 121353, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2019.121353.
- [21] C. Russell and C. Rodriguez, "Lipid extraction from *Chlorella vulgaris* & *Haematococcus pluvialis* using the switchable solvent DMCHA for biofuel production," *Energy*, vol. 278, p. 127983, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.ENERGY.2023.127983.
- [22] N. Panneerselvam, M. Ramesh, A. Murugesan, C. Vijayakumar, D. Subramaniam, and A. Kumaravel, "Effect on direct injection naturally aspirated diesel engine characteristics fuelled by pine oil, ceiba pentandra methyl ester compared with diesel," *Transp Res D Transp Environ*, vol. 48, pp. 225–234, 2016, doi: 10.1016/j.trd.2016.08.023.
- [23] N. S. Senthur, T. S. Ravikumar, and C. B. John, "Eucalyptus Biodiesel; an Environmental friendly fuel for Compression Ignition Engines," *American Journal of Engineering Research (AJER)*, vol. 03, no. 03, pp. 144–149, 2014.
- [24] P. K. Devan and N. V. Mahalakshmi, "Utilization of unattended methyl ester of paradise oil as fuel in diesel engine," *Fuel*, vol. 88, no. 10, pp. 1828–1833, Oct. 2009, doi: 10.1016/J.FUEL.2009.04.025.
- [25] V. Dhana Raju *et al.*, "Experimental assessment of diverse diesel engine characteristics fueled with an oxygenated fuel added lemon peel biodiesel blends," *Fuel*, vol. 324, p. 124529, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.FUEL.2022.124529.
- [26] P. Dubey and R. Gupta, "Effects of dual bio-fuel (Jatropha biodiesel and turpentine oil) on a single cylinder naturally aspirated diesel engine without EGR," *Appl Therm Eng*, vol. 115, pp. 1137–1147, 2017, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2016.12.125.
- [27] H. Huang, Q. Liu, C. Shi, Q. Wang, and C. Zhou, "Experimental study on spray, combustion and emission characteristics of pine oil/diesel blends in a multi-cylinder diesel

- engine,” *Fuel Processing Technology*, vol. 153, pp. 137–148, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.FUPROC.2016.07.016.
- [28] P. K. Devan and N. V. Mahalakshmi, “A study of the performance, emission and combustion characteristics of a compression ignition engine using methyl ester of paradise oil–eucalyptus oil blends,” *Appl Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 675–680, May 2009, doi: 10.1016/J.APENERGY.2008.07.008.
- [29] “Motor în doi timpi - Wikipedia.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: https://ro.wikipedia.org/wiki/Motor_%C3%AEn_doi_timpi
- [30] “Motor în patru timpi - Wikipedia.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: https://ro.wikipedia.org/wiki/Motor_%C3%AEn_patru_timpi
- [31] V. Patil, P. Singh, and S. Kumar, “Reliability of renewable oxygenated fuels in engines: A comprehensive review of long-term testing,” *Fuel*, vol. 367, p. 131451, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.FUEL.2024.131451.
- [32] “(PDF) Common Rail (Bosch) - & middot; PDF file Advantages High Performance and Fuel Efficiency - Electronically Controlled Common Rail Fuel Injection System to meet optimum combustion Low Emission - DOKUMEN.TIPS.” Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: <https://dokumen.tips/documents/common-rail-bosch-123seminaronlycomwww123seminaronlycomseminar-reports02276724536-motor-kiapdf.html?page=16>
- [33] “Hall Effect Sensor and How Magnets Make It Works.” Accessed: May 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>
- [34] R. K. Maurya, “Reciprocating Engine Combustion Diagnostics,” 2019, doi: 10.1007/978-3-030-11954-6.
- [35] “Introduction to Mass Air Flow Sensor - Utmel.” Accessed: May 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.utmel.com/blog/categories/sensors/introduction-to-mass-air-flow-sensor>
- [36] “Hermetically Sealed Thermocouple Sensors.” Accessed: May 27, 2024. [Online]. Available: https://www.thermosense.co.uk/product/twhs_hermetically_sealed_thermocouple_sensors.html
- [37] “Thermohigrobarometer.” Accessed: May 27, 2024. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://docs.rs-online.com/1164/0900766b81599e70.pdf>
- [38] “Injector - Wikipedia.” Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: <https://ro.wikipedia.org/wiki/Injector>
- [39] N. S. Prasad, N. Ganesh, and A. Kumarasamy, “Technologies for high power density diesel engines,” *Def Sci J*, vol. 67, no. 4, pp. 370–374, Jul. 2017, doi: 10.14429/DSJ.67.11537.
- [40] “Kern Data Sheet.” Accessed: Mar. 30, 2024. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://docs.rs-online.com/a64e/0900766b81683823.pdf>
- [41] B. Nicolae Vlad BURNETE Nicolae, *Motoare cu ardere internă și termodinamică Noț fundamentale*. 2021. [Online]. Available: <http://biblioteca.utcluj.ro/editura>
- [42] Ivan Vibe, *Vibe I.I., Meißner F., Brennverlauf und kreisprozess von verbrennungsmotoren*, Verlag Technik, 1970.

Ing. Chivu Robert-Mădălin

Combustibili alternativi în motoarele cu ardere internă

- [43] “Sci-Hub | Experimental Investigation and Mathematical Presentation of Rate of Heat Release in Diesel Engines Dependent upon Engine Operating Conditions. SAE Technical Paper Series | 10.4271/740086.” Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://sci-hub.se/10.4271/740086>
- [44] G. Mocanu, C. Iosifescu, I. V. Ion, F. Popescu, M. Frățița, and R. M. Chivu, “Energy Analysis of Waste Heat Recovery Using Supercritical CO₂ Brayton Cycle for Series Hybrid Electric Vehicles,” *Energies* 2024, Vol. 17, Page 2494, vol. 17, no. 11, p. 2494, May 2024, doi: 10.3390/EN17112494.

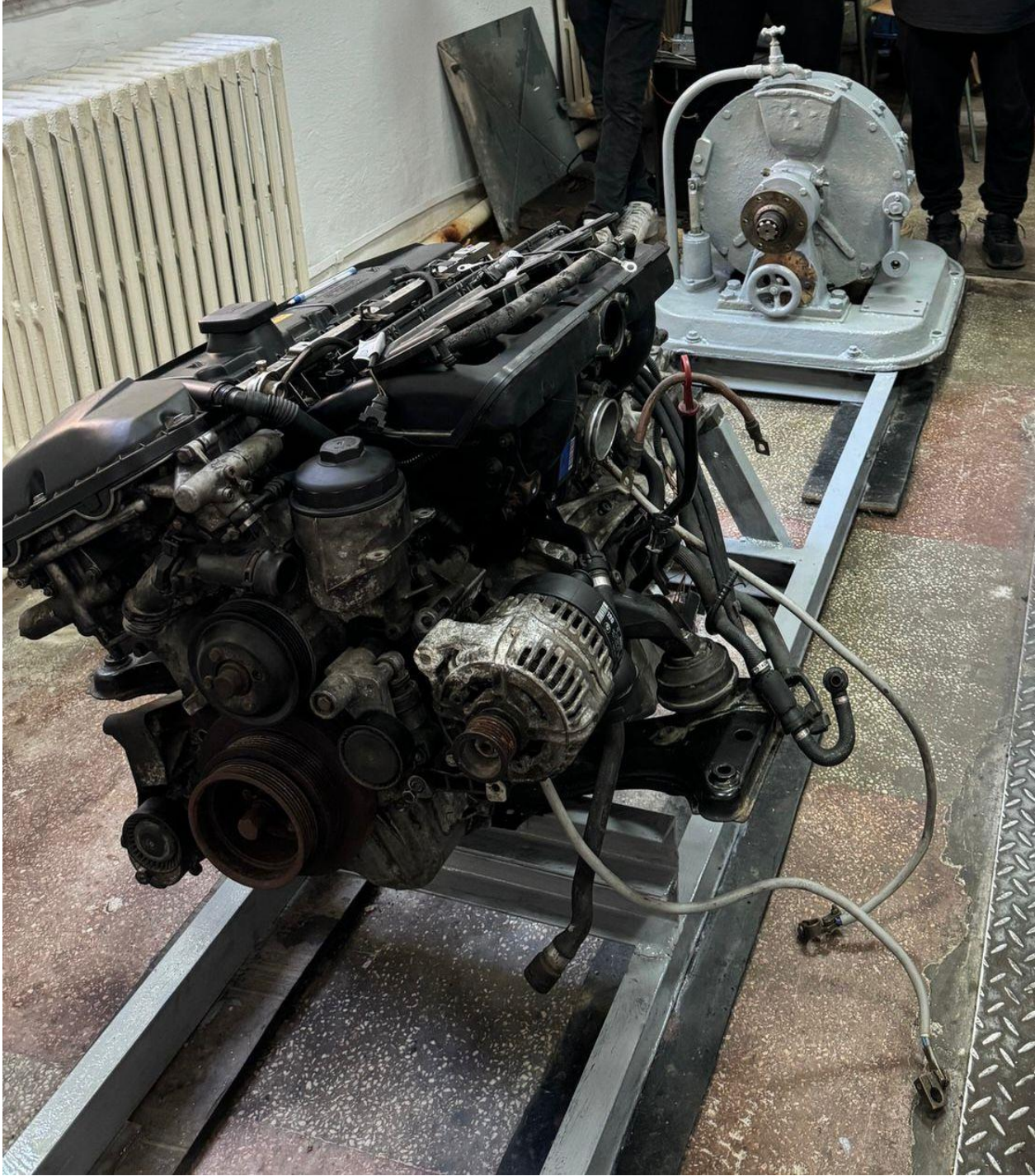
Anexa 2



Ing. Chivu Robert-Mădălin
Combustibili alternativi în motoarele cu ardere internă



Ing. Chivu Robert-Mădălin
Combustibili alternativi în motoarele cu ardere internă



Ing. Chivu Robert-Mădălin
Combustibili alternativi în motoarele cu ardere internă

INFORMAȚII PERSONALE

Chivu Robert-Mădălin



0724874968



robert.chivu@ugal.ro

Sexul M | Data nașterii 15/03/1997 | Naționalitatea Română

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

01.10.2023-prezent

Asistent universitar

01.11.2022- prezent

Membru centru de cercetare MEtRICs: Uminho, Guimarães, Portugal

01.09.2022-01.09.2023

Activitate de cercetare la Universitatea Minho din Portugalia, Guimaraes, Laboratorul de moare cu ardere internă.

01.10.2021-prezent

Doctorand la Facultatea de Inginerie, forma de finanțare, buget cu bursa, cu activitate didactică, Universitatea „Dunărea de Jos”, Galați
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială
Conducător de doctorat: Prof. Dr. Ing. Florin Popescu,
Prof. Dr. Ing. Jorge Martins

Tema: Combustibili alternativi in motoarele cu ardere internă.
Departamentul Sisteme Termice Și Autovehicule Rutiere.
Domeniul- Inginerie mecanică.

EDUCAȚIE ȘI FORMARE

2021-prezent – Doctorat

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați,

Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială

Conducător de doctorat: Prof. Dr. Ing. Florin Popescu,

Prof. Dr. Ing. Jorge Martins

2019-2021 – Master.

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Facultatea de Inginerie - Specializarea Modelare și Simulare în
Ingineria Mecanică

2015 – 2019 – Studii de Licență.

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Facultatea de Inginerie - Specializarea Autovehicule Rutiere

2011-2015

Liceul "Transporturi Căi Ferate" Galați

Ing. Chivu Robert-Mădălin
 Combustibili alternativi în motoarele cu ardere internă

Limba maternă	Română			
Alte limbi străine cunoscute	INTELEGERE		VORBIRE	SCRIERE
	Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral
Limba Engleză B2	B2	B2	B2	B2
Competențele digitale	AUTOEVALUARE			
Procesarea informației	Comunicare	Creare de conținut	Securitate	Rezolvarea de probleme
Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat

Competențe personale

Competențe

Cunostinte de utilizare instrumente digitale in predare/invatare.

Experienta de lucru in echipe multiculturale.

Bune abilități de comunicare în urma concursurilor naționale și sesiunilor științifice, conferintelor unde am participat.

Lucrul în echipă.

O bună adaptabilitate la condițiile grele de lucru.

Competențe informatice

- AVL
- Platforma Microsoft Teams, Zoom, Skype
- Diesel RK
- National Instruments
- LabView
- Pachetul Microsoft Office
- Autodesk Inventor
- Autodesk AutoCAD
- CATIA V5
- SolidWorks
- Ansys

Permis de conducere

- Categoriile AM, B1, B, C1, C, BE, C1E, CE