



Domeniul fundamental: Științe inginerești  
Domeniul de specialitate: Inginerie mecanică

# **TEZĂ DE ABILITARE**

**Posibilități și limite în utilizarea amestecurilor  
ternare de biodiesel-motorină-etanol  
pentru alimentarea motoarelor cu aprindere  
prin comprimare**

**Prof. dr. ing. István BARABÁS**  
**Facultatea de**  
**Autovehicule Rutiere, Mecatronică și Mecanică**  
**Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca**

**- Cluj-Napoca -**  
**2020**



# CUPRINS

|   |    |
|---|----|
| ABREVIERI.....  | 7  |
| INTRODUCERE.....  | 9  |
| REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE, PROFESIONALE ȘI ACADEMICE.....   | 15 |
| 1. Tendințe actuale în industria de automobile.....   | 17 |
| 1.1. Locul industriei auto în economia mondială,<br>europeană și națională.....                                     | 17 |
| 1.2. Evoluția parcului auto după sursa de propulsie.....  | 19 |
| 1.3. Situația actuală și de perspectivă a combustibililor<br>pentru automobile.....                                 | 27 |
| 1.4. Concluzii privind tendințele actuale<br>în industria de automobile.....  | 33 |
| 2. Determinarea experimentală a proprietăților principale ale<br>constituenților și ale amestecurilor acestora..... | 35 |
| 2.1. Materiale, aparate și metode utilizate.....  | 35 |
| 2.1.1. Materiale utilizate.....   | 35 |
| 2.1.2. Aparate și metode utilizate.....   | 35 |
| 2.2. Determinarea experimentală a proprietăților principale ale<br>constituenților.....                             | 35 |
| 2.2.1. Compoziția constituenților.....  | 35 |
| 2.2.2. Densitatea constituenților.....  | 39 |
| 2.2.3. Viscositatea constituenților.....  | 40 |
| 2.2.4. Alte proprietăți ale constituenților.....  | 41 |
| 2.3. Proprietățile principale ale amestecurilor.....  | 41 |
| 2.3.1. Proprietățile principale ale amestecurilor.....  | 41 |
| 2.3.2. Evaluarea miscibilității și stabilității amestecurilor<br>la diferite temperaturi.....                       | 43 |
| 2.3.3. Densitatea amestecurilor de BME.....   | 49 |
| 2.3.4. Viscositatea amestecurilor de BME.....   | 51 |
| 2.4. Concluzii privind proprietățile constituenților și<br>ale amestecurilor.....                                   | 51 |

|  |    |
|--|----|
| 3. Modelarea densității și viscozității amestecurilor ternare de biodiesel-motorină-etanol ..... | 53 |
| 3.1. Considerații generale privind estimarea proprietăților amestecurilor de BME .....           | 53 |
| 3.2. Evaluarea preciziei modelelor .....   | 54 |
| 3.3. Modelarea densității amestecurilor de BME .....   | 55 |
| 3.3.1. Considerații generale .....   | 55 |
| 3.3.2. Modele pentru descrierea densității constituenților .....                                 | 56 |
| 3.3.3. Modele pentru estimarea densității amestecurilor .....                                    | 60 |
| 3.3.4. Evaluarea modelelor pentru densitate .....  | 60 |
| 3.3.5. Modele propuse pentru descrierea densității amestecurilor ternare .....                   | 65 |
| 3.4. Modelarea viscozității amestecurilor de BME .....   | 69 |
| 3.4.1. Considerații generale privind viscozitatea .....  | 69 |
| 3.4.2. Modelarea viscozității constituenților în funcție de temperatură .....                    | 70 |
| 3.4.3. Modelarea viscozității amestecurilor în funcție de temperatură .....                      | 70 |
| 3.4.4. Evaluarea modelelor de viscozitate .....  | 72 |
| 3.4.5. Modele propuse pentru estimarea densității amestecurilor BME .....                        | 75 |
| 3.4.6. Evaluarea modelelor pentru alte tipuri de biodiesel .....                                 | 80 |
| 3.5. Concluzii privind modelarea densității și viscozității amestecurilor de BME .....           | 81 |
| 4. Studiul experimental al procesului de injecție .....  | 83 |
| 4.1. Considerații generale privind studiul procesului de injecție .....                          | 83 |
| 4.2. Echipamentul utilizat și rezultate obținute la studiul procesului de injecție .....         | 84 |
| 4.3. Concluzii privind studiul experimental al procesului de injecție .....                      | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| 5. Cercetări experimentale privind<br>utilizarea amestecurilor de BME la alimentarea MAC ..... | 93  |
| 5.1. Considerații generale privind încercările pe stand.....                                   | 93  |
| 5.2. Materiale și metode utilizate .....   | 93  |
| 5.3. Performanțe economice .....   | 95  |
| 5.3.1. Consumului specific efectiv de combustibil .....  | 95  |
| 5.3.2. Randamentul motorului.....  | 96  |
| 5.4. Evaluarea poluării motorului .....  | 96  |
| 5.4.1. Emisiile de monoxid de carbon .....   | 96  |
| 5.4.2. Emisiile de dioxid de carbon .....  | 97  |
| 5.4.3. Emisiile de oxizi de azot.....  | 98  |
| 5.4.4. Emisiile de hidrocarburi .....  | 99  |
| 5.4.5. Emisiile de fum .....   | 100 |
| 5.5. Concluzii privind testarea amestecurilor<br>pe standul de încercare echipat cu MAC.....   | 101 |
| 6. Posibilități și limite ale amestecurilor de BME<br>ca și combustibili pentru MAC.....       | 103 |
| PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI.....  | 105 |
| Lista publicațiilor relevante<br>pentru cercetarea științifică din teză.....                   | 119 |
| BIBLIOGRAFIE.....  | 123 |
| LISTA FIGURILOR.....   | 129 |
| LISTA TABELELOR .....  | 132 |



## ABREVIERI

|            |  |
|------------|--|
| AS         | abatere medie pătratică  |
| BME        | biodiesel-motorină-bioetanol   |
| CA         | camera de ardere   |
| CFD        | dinamica computerizată a fluidelor<br>(Computational Fluid Dynamics)   |
| DIPPR105   | ecuația lui Rackett modificată de Daubert  |
| EMAG       | esteri metilici ai acizilor grași  |
| EN         | Standard european reglementat de către<br>Comitetul European de Standardizare  |
| EPMA       | eroare procentuală medie absolută  |
| GCM        | metoda contribuției grupurilor   |
| GCVOL      | metoda contribuției grupurilor pentru<br>calculul volumului molar  |
| KMR        | regula de compunere a lui Kay  |
| KMRTCVol   | regula de compunere a lui Kay utilizând fracții masice și<br>compensare de temperatură   |
| KMRVol     | regula de compunere a lui Kay utilizând fracții volumice   |
| MAC        | motor cu aprindere prin comprimare   |
| MAI        | motor cu ardere internă  |
| MRM        | regula de compunere utilizând fracții masice   |
| NEDC       | noul ciclu european de conducere<br>(New European Driving Cycle)   |
| R          | coeficient de corelație  |
| RaSD       | ecuația lui Rackett modificată de Spencer și Danne   |
| RaSD2Exptl | ecuația lui Rackett modificată de Spencer și Danne<br>particularizat cu două date experimentale  |
| RL         | regresie liniară   |
| RLM        | regresie liniară multiplă  |
| RP         | regresie polinomială   |
| SR         | Standard român reglementat de către<br>Asociația de Standardizare din România  |
| UE         | Uniunea Europeană  |
| VBI        | indicele de amestec a viscozității<br>(Viscosity Blending Index)   |
| VFT        | ecuația Vogel-Fulcher-Tammann  |
| WLTP       | procedură armonizată la nivel mondial de testare a<br>autovehiculelor comerciale ușoare (Worldwide<br>Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) |





## INTRODUCERE

Această teză de abilitare intitulată *Posibilități și limite în utilizarea amestecurilor ternare de biodiesel-motorină-etanol pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare* este structurată în două părți: *Realizări științifice, profesionale și academice și Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei*.

Prima parte se bazează pe rezultatele obținute în cadrul proiectului de cercetare științifică desfășurat în cadrul programului IDEI, Planul Național de Cercetare, Dezvoltare și Inovare – PN II, Proiecte de cercetare exploratorie, cu tema *Cercetări privind substituirea parțială a motorinei destinată motoarelor diesel prin amestecuri de biodiesel-motorină-bioetanol* și principalele publicații care au rezultat în urma soluționării acestuia. Această parte este structurată pe șase capitole, în care sunt tratate principalele provocări ale utilizării biocombustibililor: oportunitatea utilizării biocombustibililor în condițiile reorientării industriei auto spre propulsia hibridă și spre cea pur electrică, evaluarea proprietăților principale ale biocombustibililor în raport cu cele clasice, modelarea a două proprietăți esențiale, densitatea și viscozitatea amestecurilor ternare de biodiesel-motorină-etanol, studiul experimental al procesului de injecție, precum și testarea amestecurilor ternare pe un motor cu aprindere prin comprimare.

Primul capitolul, intitulat *Tendențe actuale în industria de automobile*, prezintă schimbările majore prin care trece industria de automobile la nivel mondial, european și național, identificând locul și rolul biocombustibililor în viitorul apropiat și pe termen mediu.

În capitolul al doilea, *Determinarea experimentală a proprietăților principale ale constituenților și ale amestecurilor acestora*, sunt prezentați combustibilii utilizați în această cercetare, compoziția și modul de preparare a amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol, aparatele utilizate în scopul determinării principalelor proprietăți fizico-chimice ale constituenților și amestecurilor, precum și rezultatele obținute.

Capitolul 3, cu titlul *Modelarea densității și viscozității amestecurilor ternare de biodiesel-motorină-etanol*, prezintă principiul de modelare a proprietăților amestecurilor, trece în revistă principalele modele utilizate pentru estimarea densității și viscozității amestecurilor de combustibil și propune noi modele, cu precizie îmbunătățită, pentru descrierea densității și viscozității în funcție de compoziție și temperatură.

Calitatea pulverizării combustibililor este determinată, pe lângă parametrii constructivi și funcționali ai motorului, de proprietățile fizice și chimice ale combustibililor. În Capitolul 4 – *Studiul experimental al procesul de injecție*, sunt studiate comparativ formarea și evoluția jetului a trei tipuri de amestecuri de biodiesel-motorină-etanol comparativ cu jetul de motorină.

Amestecurile de biodiesel-motorină-etanol au fost testate și pe un stand echipat cu un motor cu aprindere prin comprimare. Capitolul 5 – *Cercetări experimentale privind utilizarea amestecurilor BME la alimentarea MAC*, prezintă rezultatele comparative obținute în cazul alimentării alternative cu amestecuri BME și motorină. Astfel, utilizând trei tipuri de amestec de biodiesel-motorină-etanol, au fost determinate variațiile consumului specific efectiv de combustibil, randamentul motorului, emisiile de monoxid și dioxid de carbon, de oxizi de azot, de hidrocarburi și de fum în funcție de sarcina motorului, iar rezultatele au fost comparate cu cele obținute în cazul motorinei.

*Posibilitățile și limitele utilizării amestecurilor de BME ca și combustibil pentru MAC* sunt prezentate sintetic în Capitolul 6.

*Activitatea didactică* desfășurată în cadrul Universității Tehnice din Cluj Napoca (UTC-N) ca preparator universitar (februarie 1991 – ianuarie 1994), asistent universitar (februarie 1994 – ianuarie 1997), șef de lucrări (februarie 1997 – septembrie 2004), conferențiar universitar (octombrie 2004 – septembrie 2013), profesor universitar (octombrie 2013 - prezent) a constat în activități de predare a cursurilor de specialitate, coordonarea lucrărilor de laborator și a practicii productive, studenților de la specializările coordonate de Departamentul Autovehicule Rutiere și Transporturi (DART) din cadrul Facultății de Autovehicule Rutiere, Mecatronică și Mecanică (FARMM) a UTC-N, respectiv:

- studii universitare de licență: *Autovehicule Rutiere* – AR, *Ingineria Transporturilor și a Traficului* – ITT, *Mecanică Fină și Nanotehnologii* – MFN, *Sisteme și Echipamente Termice* – SET, *Mașini și Instalații pentru Agricultură și Industrie Alimentară* – MIAIA;
- studii universitare de master: *Automobilul și Mediul* – AM, *Logistica Transporturilor Rutiere* – LTR, *Sisteme de Management și Control ale Autovehiculelor* – SMCA;
- alte forme de învățământ superior: *colegiu* – *Automobile*; *studii universitare aprofundate* - *Siguranța Circulației Rutiere* – SCR.

Dintre principalele discipline predate se menționează:

- *Combustibili și lubrifianți* – AR;
- *Combustibili, lubrifianți și materiale speciale* – ITT;
- *Teoria sistemelor și automatizări* – Inginerie Mecanică, Ingineria Autovehiculelor, Ingineria Transporturilor, Mecatronica și Robotică;
- *Materiale biodegradabile, lubrifianți și combustibili ecologici pentru automobile* – AM;
- *Gestionarea și reciclarea automobilelor scoase din uz* – AM;
- *Senzori și sisteme de măsurare* – SMCA;
- *Sisteme flexfuel* – SMCA.

Am îndrumat peste 150 de studenți la elaborarea proiectelor de diplomă și de disertație.

De asemenea, conduc un cerc științific de automatizări, la care participă în fiecare săptămână 8-10 studenți din anul 3 de studii universitare de licență.

Am fost membru în comisia de îndrumare a doi studenți doctoranzi, care au susținut cu succes tezele și au dobândit titlul de doctor, precum și în cinci comisii de analiză și susținere publică de teze de doctorat din țară și străinătate (1 – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca și 4 – ANNA University, Chennai, India).

*Activitatea de cercetare:* Am susținut teza de doctorat în anul 2003 la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, cu titlul *Cercetări și contribuții privind influența ionizării asupra formării amestecului și arderii în MAS (conducător științific Prof.dr.ing. Bățaga A. Nicolae)*, în domeniul de specialitate Inginerie mecanică. Marea majoritate a publicațiilor din ultimii ani au ca subiect cercetarea combustibililor pentru motoare cu ardere internă și a uleiurilor de ungere, subiecte care se încadrează în ingineria mecanică. Mai mult decât atât, o parte a cursurilor sunt predate studenților de la inginerie mecanică. Principalele teme de cercetare abordate după susținerea tezei de doctorat sunt legate de: 1) combustibilii pentru motoare cu ardere internă; 2) dezvoltarea unor lubrifianți având performanțe îmbunătățite 3) identificarea unor aspecte generale legate de autovehiculele având conducere automată și soluționarea acestora.

### **1) Combustibilii pentru motoare cu ardere internă**

Problematika combustibililor pentru autovehicule este și rămâne un domeniu de cercetare incitant, de care mă ocup din 1997, și care mi-a devenit cel mai important domeniu de cercetare, în special bio-

combustibilii și amestecurile acestora cu combustibili fosili. Deoarece în ultima perioadă în combustibilii comerciali de origine fosilă au fost introduși componenți de origine biogenă (bioetanol în benzine și biodiesel în motorine), m-a preocupat permanent identificarea influenței acestor componenți asupra proprietăților fizico-chimice ale combustibililor comerciali, având în vedere că proporția acestora a prezentat o tendință de creștere, tendință susținută și prin directive europene (Directive 2003/30/EC, Directive 2009/30/EC etc.).

Din 2003 am publicat în domeniul combustibililor 69 articole științifice, din care 15 au ca temă determinarea și/sau evaluare proprietăților combustibililor, 9 articole se referă la studiul teoretic și experimental privind influența proprietăților combustibililor asupra procesului de injecție, iar altele 45 tratează probleme legate de fabricarea și utilizarea biocombustibililor, în special evaluarea performanțelor și a poluării motoarelor cu ardere internă alimentate cu biocombustibili sau cu amestecurile acestora cu combustibili fosili.

Pentru asigurarea unei baze materiale cercetărilor legate de acest domeniu, am aplicat pentru proiecte și burse de cercetare, câștigând în calitate de director un proiect național care s-a desfășurat în perioada 2007-2010 (Cercetări privind substituirea parțială a motorinei destinată motoarelor diesel prin amestecuri de biodiesel-motorină-bioetanol. Programul: IDEI, Planul Național de Cercetare, Dezvoltare și Inovare – PN II, Tipul proiectului: Proiecte de cercetare exploratorie, Cod proiect: ID\_1098, Nr. Contract: 88/01.10.2007), două burse de cercetare în calitate de team leader (echipe formate din patru cercetători, două cadre didactice și doi studenți), desfășurate în perioada 2005-2006 (Biofuels produced from agricultural products and wastes for use as internal combustion engine. Finanțator: Sapiientia Foundation, Institute for Research Programmes, Romania), respectiv 2004-2005 (Biofuels for urban transport. Finanțator: Sapiientia Foundation, Institute for Research Programmes, Romania), și o bursă individuală câștigată prin competiție internațională, care s-a derulat în perioada 2007-2008 (Partial substitution of diesel fuel with diesel-biofuel blends. Finanțator: Academia de Științe din Ungaria). Rezultatele acestor cercetări au fost larg diseminate prin publicarea de articole științifice în reviste de specialitate (B1, B9-B11, B17 din LISTA PUBLICAȚIILOR RELEVANTE prezentată la pag. 119) sau prezentate în cadrul unor conferințe internaționale (B2-B8, B13-B16, B18-B20, B23-B25). De asemenea, rezultatele cercetărilor au fost valorificate și prin contribuții cu capitole la trei cărți

editate (A4, A4 și A6), publicate de către edituri internaționale și au servit ca bază de cunoștințe pentru publicarea unei monografii (A3).

De asemenea, am studiat proprietățile fizice ale amestecurilor de motorină-etanol stabilizate cu tetrahidrofuran și aspectele legate de economicitatea și poluarea MAC alimentate cu acești combustibili. În urma acestor cercetări am publicat trei articole științifice (B23-B25).

## **2) Aditivarea lubrifianților cu nanoparticule**

Aproximativ 12% din energia combustibilului ars în MAI este consumată pentru a învinge frecarea dintre elementele motorului aflate în mișcare relativă. Deși există în uleiul motor o serie de aditivi, inclusiv pentru reducerea frecării, performanțele de lubrifiere ale acestora pot fi îmbunătățite prin adăugarea unor nano-particule ca dioxidul de titan, nano-diamant sau nano-grafit.

Încercările preliminare au demonstrat că la o anumită concentrație de nano-particule în uleiul de ungere se reduce frecarea și se îmbunătățesc unele proprietăți fizice. Rezultatele încercărilor preliminare au fost publicate în B26 și B27.

## **3) Aspecte legate de vehicule având conducere automată**

Industria automobilelor trece printr-o schimbare profundă, cele mai importante schimbări fiind apariția vehiculelor electrice și dezvoltarea de tehnologii pentru vehicule având conducere automată. Însă, aceste schimbări deschid o serie de provocări a căror soluționare vine în sarcina cercetării. Principalele preocupări privesc evaluarea generală a provocărilor tehnice, sociale, morale etc. din domeniu, precum și soluționarea unor sarcini concrete cum ar fi depășirea unui vehicul antermergător sau abordarea unui sens giratoriu.

Rezultatele cercetărilor preliminare au fost prezentate în cadrul a două conferințe internaționale (B21, B22 – prezentată în plenul conferinței).

Intenționez ca în viitor să continui cercetările în cele trei domenii prezentate.



## **REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE, PROFESIONALE ȘI ACADEMICE**

Amestecurile de biodiesel-motorină-(bio)etanol (BME) au devenit în ultima perioadă obiectul numeroaselor cercetări, care au ca obiectiv principal evaluarea performanțelor economice și a poluării motoarelor cu aprindere prin comprimare alimentate cu aceste amestecuri. Deoarece ele constituie una din obiectele mele de cercetare științifică de care mă ocup din 2007, consider că este potrivită ca temă centrală a acestei teze.

Conținutul primului capitol se bazează pe interpretarea literaturii de specialitate citată și prezentată în Bibliografie.

Capitolul al doilea a fost întocmit pe baza publicațiilor proprii A5 și B1-B7 din LISTA PUBLICAȚIILOR RELEVANTE prezentată la pag. 119.

Al treilea capitol se bazează pe conținutul publicațiilor A4, B1, B6, B8-B13.

Pentru întocmirea celui de-al patrulea capitol au fost utilizate publicațiile B14-B16.

Capitolul al cincilea a fost alcătuit pe baza publicațiilor A6, B17-B20.







# **1. Tendințe actuale în industria de automobile**

## **1.1. Locul industriei auto în economia mondială, europeană și națională**

Transportul persoanelor și a bunurilor se realizează la ora actuală pe canale rutiere, aeriene și maritime. Industria automobilelor prezintă o importanță deosebită în economiile naționale ale majorității țărilor dezvoltate și a marii majorități ale țărilor în curs de dezvoltare.

Automobilul este cel mai important simbol al tehnologiei ultimilor 130 de ani, având o construcție complexă, fiind fabricat în serie mare. El a devenit un simbol al mobilității, a libertății, a bunăstării și nu în ultimul rând al statutului social.

De-a lungul dezvoltării sale, importanța lui a devenit una esențială, la ora actuală având o influență semnificativă asupra tuturor ramurilor economiei. Camioanele și autoutilitarele transportă 76,7% din mărfurile livrate pe uscat, asigurând transportul a 14,7 miliarde de tone de bunuri în fiecare an [1].

Industria auto generează 7% din produsul intern brut al Uniunii Europene, asigurând, în mod direct sau indirect, 13,8 milioane de locuri de muncă, reprezentând 6,1% din totalul locurilor de muncă din UE. De asemenea, ea reprezintă 11,4% din locurile de muncă din producție (3,5 milioane de locuri de muncă).

În România, industria auto produce 14% din produsul intern brut și 26% din exporturi [2]. De regulă, industria auto are o contribuție mai mare la produsul intern brut al țărilor est-europene decât media UE, datorită costului mai redus al manoperei.

Odată cu dezvoltarea tehnologică și creșterea puterii de cumpărare a populației, numărul autovehiculelor a cunoscut o creștere semnificativă (Figura 1.1) [3]. Creșterea aproximativ liniară la nivel mondial și european este datorată saturației piețelor din țările dezvoltate și creșterii numărului de autovehicule aflate în exploatare în țările în curs de dezvoltare. Un alt motiv este creșterea ușoară a vârstei medii a auto-

vehiculelor aflate în exploatare în țările dezvoltate, concomitent cu scăderea accentuată în țările în curs de dezvoltare.

În ceea ce privește evoluția vehiculelor aflate în exploatare din România, se poate constata o creștere cu intensități variabile, una foarte abruptă în perioada 2006-2009, urmată de o stagnare în perioada crizei economice, iar odată cu revenirea economiei, creșterea este din nou una susținută.

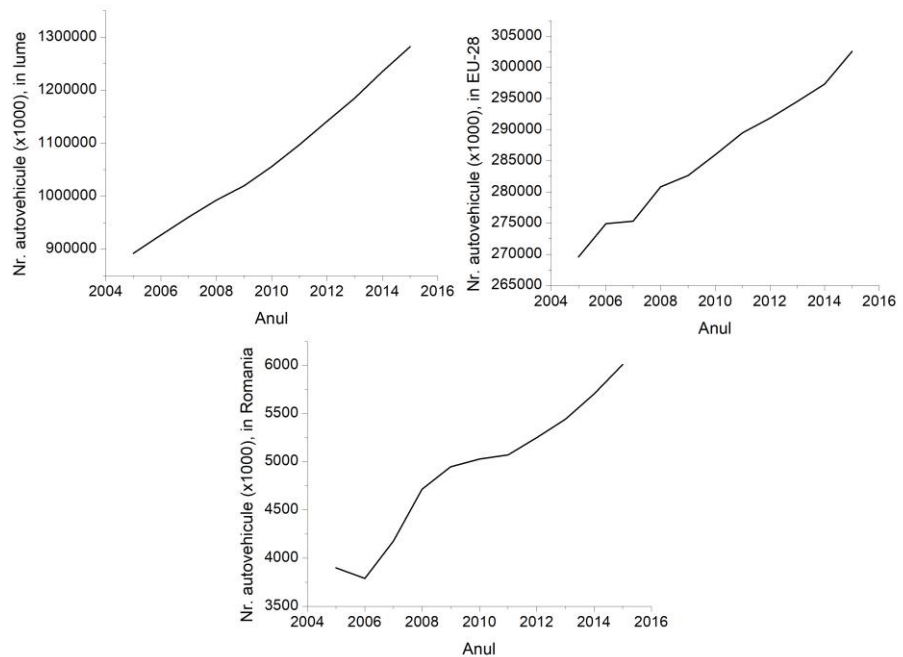


Figura 1.1. Evoluția numărului de autovehicule în uz la nivel mondial, european și în România.

Creșterea numărului de autovehicule aflate în exploatare la nivel mondial, european și național a atras după sine și creșterea cererii de combustibil și, deopotrivă, a creșterii prețului acestuia. De asemenea, în scopul de a ameliora presiunea exercitată prin arderea combustibililor fosili, normele de antipoluare au devenit din ce în ce mai severe, ale căror respectare este posibilă doar prin perfecționarea motoarelor cu ardere internă, îmbunătățirea continuă a calității combustibililor, îmbunătățirea randamentului transmisiei etc., iar într-un final, prin înlocuirea propulsiei, trecând treptat la unele alternative, cum ar fi motoare cu ar-

dere internă alimentate cu combustibili reînnoibili, autovehicule hibrid-electrice și autovehicule electrice.

## **1.2. Evoluția parcului auto după sursa de propulsie**

În ultimul timp a devenit foarte clar că transportul de mărfuri și de persoane, utilizând autovehiculele propulsate cu motoare cu ardere internă, nu este sustenabil, datorită unui complex de motive: creșterea numărului de autovehicule aflate în exploatare care necesită o cantitate crescândă de combustibil fosil, creșterea prețului combustibililor generată de pe o parte de creșterea numărului de autovehicule, iar pe altă parte de accizarea din ce în ce mai severă a carburanților. Reglementările din ce în ce mai severe privind poluarea autovehiculelor, limitarea accesului vehiculelor având ca propulsie motoare cu ardere internă (deocamdată mai severe pentru MAC decât la MAS), au condus la o serie de căutări de soluții alternative privind combustibilul utilizat (de exemplu, biocombustibili-biodiesel, bioetanol, biogaz, diverși combustibili sintetici sau hidrogenul, pentru care în țările nordice a fost dezvoltată o rețea de alimentare de-a lungul unor autostrăzi) sau chiar la înlocuirea sursei de energie fosile cu energie electrică stocată sau generată în diverse moduri la bordul autovehiculului.

Automobilele electrice încărcabile de la o priză electrică au ajuns în centrul atenției în ultimii ani, datorită poluării zero la locul de exploatare. Acest lucru este foarte important mai ales în marile aglomerări urbane. Evoluția componenței vehiculelor noi înmatriculate în Europa este redată în Figura 1.2 [4]. Se poate observa că soluțiile alternative de propulsie – electrică, hibrid-electrică – câștigă un teren din ce în ce mai larg, pe când propulsia cu motoare cu ardere internă, pe lângă faptul că pierde teren, suferă și o modificare structurală în favoarea motoarelor alimentate cu benzină pe seama scăderii celor alimentate cu motorină.

Ponderea vehiculelor având propulsie alternativă la nivelul anului 2017 (cea mai recentă raportare la nivelul ACEA) în flota UE este redată în Figura 1.3 [5]. Se poate observa faptul că – așa cum este de așteptat – cele mai multe vehicule având propulsie alternativă sunt autoturismele, iar la polul opus se află camioanele.

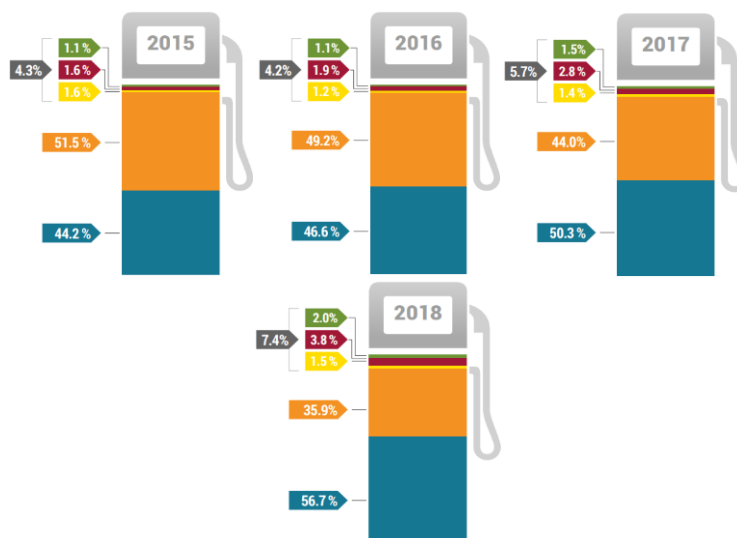


Figura 1.2. Vehicule noi înmatriculate în UE în funcție de propulsie [4]:

- Benzină; ● Motorină; ● Electric încărcabil; ● Hibrid-electric;
- Alte decăt electrice; ● Total propulsie alternativă.

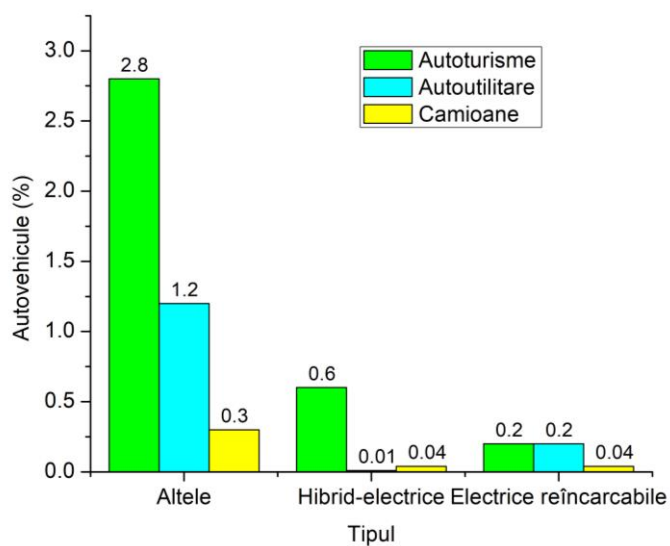


Figura 1.3. Participarea relativă a vehiculelor având propulsie alternativă în flota UE [5].

La nivelul Uniunii Europene vânzările de vehicule electrice cresc exponențial, numărul vehiculelor pur electrice fiind aproximativ egal cu numărul celor hibrid-electrice încărcabile (Figura 1.4). Chiar cu această

creștere spectaculoasă, cota de piață a vehiculelor electrice rămâne una modestă, sub 3% (Figura 1.5).

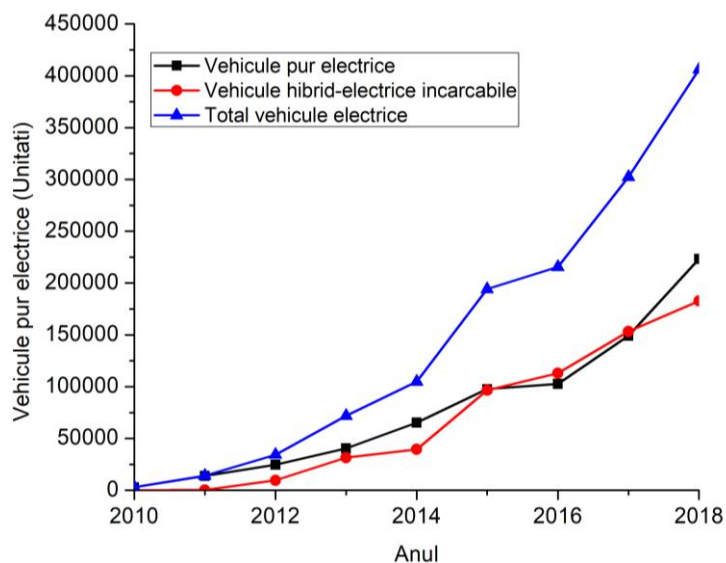


Figura 1.4. Evoluția numărului de vehicule electrice vândute în Uniunea Europeană [6].

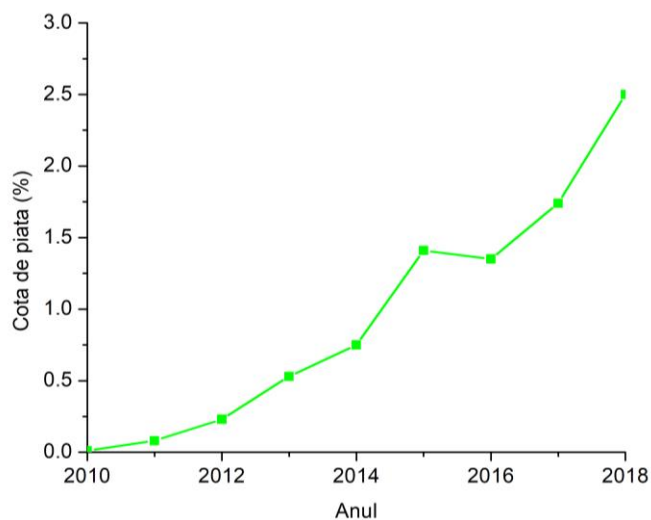


Figura 1.5. Evoluția cotei de piață a vehiculelor electrice comercializate în Uniunea Europeană [6].

Marii producători de automobile cresc investițiile în scopul de a crește oferta și diversitatea gamei de vehicule propulsate parțial sau pur electric. Deși oferta de vehicule electrice este încă foarte limitată,

numărul de modele crește continuu (Figura 1.6) [7]. La sfârșitul anului 2017 existau 33 de modele de vehicule hibrid-electrice încărcabile și 28 de modele pur electrice. De asemenea, se poate observa că din 2015 oferta de vehicule hibrid-electrice a devenit mai mare decât a celor pur electrice și prezintă o creștere mai accentuată, cea ce reflectă tendința spre care producătorii încearcă să orienteze piața, deși numărul vehiculelor pur electrice crește în vânzări [8]. Numărul de unități de vehicule electrice comercializate anual în Uniunea Europeană în perioada 2010-2018 este prezentată în Figura 1.4. După cum se poate observa, creșterea este exponențială, existând în același timp o concurență acerbă între vehiculele pur electrice și cele hibrid-electrice încărcabile.

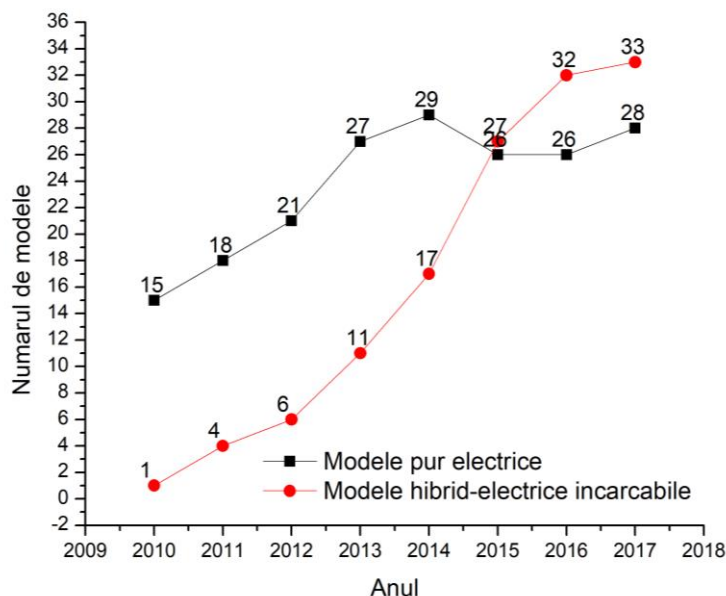


Figura 1.6. Evoluția numărului de modele de vehicule pur electrice și hibrid-electrice încărcabile [7].

Numărul vehiculelor hibrid-electrice încărcabile noi înmatriculate crește continuu în Uniunea Europeană (Figura 1.7), ajungând în 2018 la o cotă de piață de 2,3% [8]. Acest fapt arată că la ora actuală producătorii de autovehicule oferă ca și compromis pentru perioada de trecere de la autovehiculele cu propulsie clasică la cele pur electrice, vehicule dotate cu baterie electrică și cu motor termic.

La ora actuală există o serie de dispute privind poluarea reală a automobilelor electrice. De exemplu, un grup de cercetători independenți din Germania [9] au comparat consumul de motorină, respectiv de

energie electrică, precum și efectul acestora asupra mediului a două automobile de categorie apropiată: Mercedes C 220d și Tesla Model 3, ținând cont de mixul energetic al Germaniei. Cercetătorii au comparat emisiile de CO<sub>2</sub>, pe baza noului ciclu european de conducere – NEDC (New European Driving Cycle), deoarece emisiile pe baza procedurii armonizate la nivel mondial de testare a autovehiculelor comerciale ușoare WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) nu era disponibil pentru Tesla Model 3 la momentul respectiv.

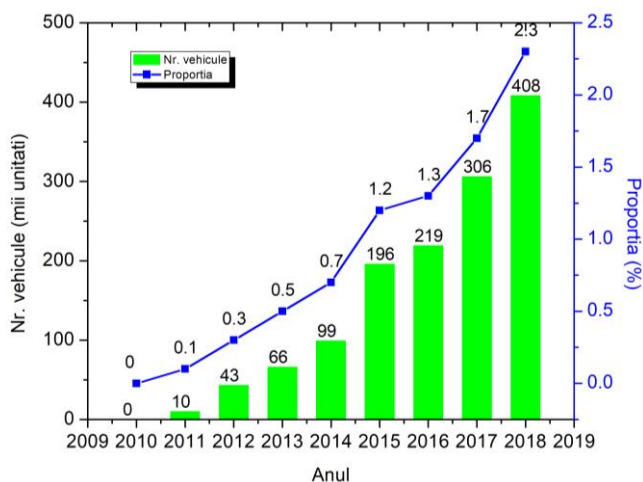


Figura 1.7. Evoluția vehiculelor hibrid-electrice reîncărcabile, noi înmatriculate în Uniunea Europeană [8].

Cercetătorii au luat în considerare autonomia automobilelor, consumul acestora raportat la 100 de km respectiv emisiile de CO<sub>2</sub> generate de producerea și consumarea energiei.

Astfel, în cazul autoturismului Mercedes au ținut cont de consumul de motorină măsurat conform NEDC de 5,5 L/100 km, la care corespunde o emisie de CO<sub>2</sub> de 117 g/km care se majorează cu 21%, reprezentând emisiile de CO<sub>2</sub> generate pe perioada fabricării și distribuției combustibilului (de la sondă la stația de alimentare), rezultând 141 g/km CO<sub>2</sub>.

În cazul autoturismului Tesla au luat în considerare un consum de 15 kWh/100 km, în care au inclus și pierderile la încărcarea și descărcarea bateriei de acumulatori, precum și energia consumată de sistemele electrice auxiliare (cca. 30%). Nu au luat în considerare pierderile de 5-10% la stațiile de încărcare, însă au considerat că la producerea și reciclarea bateriei de acumulatori se generează între

145 și 195 kg CO<sub>2</sub>/kWh, ceea ce înseamnă, la capacitatea bateriei luată în considerare de 75 kWh, între 10875 și 14625 kg CO<sub>2</sub>.

Considerând o durată de viață de 10 ani și un parcurs anual de 15000 km, rezultă o emisie de CO<sub>2</sub> între 73 și 98 g/km, la care se adaugă emisiile de CO<sub>2</sub> generate pe durata producerii energiei electrice de 83 g/km. Rezultă astfel o emisie de CO<sub>2</sub> cuprinsă între 156 și 181 g/km, ceea ce înseamnă emisii mai mari de CO<sub>2</sub> cu 11 și 28% în cazul automobilului electric față de cel propulsat cu un motor Diesel.

Autorii publicației au cercetat și alte sisteme de propulsie din punctul de vedere al emisiilor de CO<sub>2</sub>, ajungând la concluzia că motoarele cu ardere internă alimentate cu metan au cel mai favorabil bilanț în privința emisiilor de CO<sub>2</sub>.

Studiul prezentat în [9] a fost aspru criticat, principalele observații au vizat următoarele aspecte [10]:

- Majoritatea emisiilor de CO<sub>2</sub> raportate la întreg ciclul de viață a unui automobil electric este generată pe durata fabricării bateriei electrice. Datorită capacității maxime a bateriei cu care poate fi dotată Tesla Model 3 (75 kWh), rezultatele obținute au fost influențate în mod negativ. Însă potrivit autorilor studiului [9] capacitatea bateriei trebuia luată chiar dublă față de cea considerată pentru a compensa autonomia dublă a automobilului Mercedes C 220d.
- Studiul a luat în considerare metoda NEDC și nu WLTP, fapt ce a avantajat automobilul alimentat cu combustibil fosil.
- Durata de viață luată în considerare a bateriei de acumulator a fost mai redusă, decât arată experiența actuală. De asemenea, cu toată că capacitatea bateriei scade pe perioada exploatării, ea poate acumula în continuare energie electrică.
- Datele luate în considerare de către autorii studiului privind emisiile de CO<sub>2</sub> pe durata producerii bateriei de acumulatori au fost depășite și contrazise în repetate rânduri. De asemenea, nu s-a ținut cont de ponderea energiei regenerabile utilizate la fabricarea bateriilor, care nu contribuie la emisiile de CO<sub>2</sub>. De exemplu, Tesla Gigafactory va fi alimentat exclusiv cu energie solară până la sfârșitul anului 2019.
- Nu s-a ținut cont de costurile de întreținere mult mai reduse ale automobilelor electrice, care necesită mai puține piese de schimb și consumabile, fabricarea cărora ar genera cantități importante de CO<sub>2</sub>.



- Autorii studiului au comparat doar emisiile de CO<sub>2</sub>, pe când motoarele cu ardere internă emit și o serie de alți poluanți.

În urma studiului prezentat în [9] grupul Volkswagen a realizat și publicat propriul studiu, în care au comparat emisiile a două autoturisme Volkswagen Golf cu propulsii diferite, un TDI Diesel și un eGolf, iar rezultatele principale au fost comunicate în [11]. Cercetarea a vizat întregul ciclu de viață a celor două automobile, fiind luate în considerare emisiile poluante generate pe durata tuturor fazelor vieții unui automobil, începând cu exploatarea materiilor prime utilizate la fabricare, fabricarea propriu-zisă ale pieselor, montajul automobilelor, utilizarea (exploatarea), iar la sfârșit reciclarea acestora.

Analiza a arătat că în cazul modelului echipat cu motor Diesel, cele mai mari emisii au loc în faza utilizării automobilului, când emite 111 g/km CO<sub>2</sub> datorită arderii combustibilului lichid. În schimb, în aceeași fază a ciclului de viață, unui automobil cu propulsie electrică îi corespunde doar 62 g/km CO<sub>2</sub>, care rezultă exclusiv din producerea și distribuirea energiei electrice. Aceste emisii depind însă de tipul sursei de energie primară din care se produce energia electrică, sursele regenerabile reduc aceste tipuri de emisii.

În schimb, situația este opusă pe perioada fabricării. Astfel, cercetarea a arătat că la fabricarea modelului Golf echipat cu motor Diesel sunt generate emisii de CO<sub>2</sub> în valoare de 29 g/km, pe când la fabricarea modelului cu propulsie electrică aceste emisii se ridică la 57 g/km, care se leagă în principal de producția de baterii de acumulatori și de procesele de extragere a materiilor prime necesare acestora.

Emisiile de CO<sub>2</sub> ale automobilelor electrice depind de mixul energiei electrice care se utilizează la încărcarea bateriei. Astfel, luând în considerare mixul energiei electrice pentru EU-28 emisiile de CO<sub>2</sub> sunt de 119 g/km, în cazul mixului din Germania și Statele Unite ale Americii de 142 g/km și crește la 183 g/km în cazul mixului din China [11].

Din cele două studii, având rezultate oarecum contradictorii, se poate concluziona că la ora actuală nu există o viziune comparativă unitară în ceea ce privește emisiile de CO<sub>2</sub> ale vehiculelor dotate cu cele două tipuri de propulsii. Cu toate acestea se pot conclud următoarele:

- Ambele soluții prezintă propriile avantaje și dezavantaje, iar studiile comparative nu totdeauna sunt imparțiale [10].
- Deși emisiile locale ale automobilelor electrice sunt minime, în ansamblu ele nu sunt cu emisii zero, ele generează emisii poluante pe durata fabricării și reciclării lor. Se poate considera că automobilele electrice, la fel ca și cele propulsate cu mo-

toare cu ardere internă, poluează mediul, diferențele esențiale constau în locul și nivelul poluării [10].

- La baza celor mai multe studii comparative stau doar emisiile de CO<sub>2</sub>, deși ele emit și alți poluanți [10].

Există situații, când încărcarea bateriilor vehiculelor electrice nu este posibilă fără utilizarea unui motor termic care să genereze energia electrică necesară. De exemplu, datorită inexistenței unei infrastructuri de energie electrică de-a lungul celei mai lungi autostrăzi din Australia prin deșertul Nullarbor nu exista nici un punct de încărcare, până când un inginer nu a construit stații de încărcare care utilizează generatoare electrice antrenate cu motoare Diesel (Figura 1.8) [12]. Energia electrică încărcată convertită în consum de motorină a fost în cazul unui automobil de tip BMW i3 de 4,392 L/100 km, care oricum este mai redus decât în cazul unor automobile similare. Aceste stații de încărcare vor fi necesare până la montarea unor stații ce funcționează cu energie regenerabilă, de exemplu energie solară.



Figura 1.8. Stație de încărcare pentru vehicule electrice cu generator antrenat de un motor diesel [12].

### **1.3. Situația actuală și de perspectivă a combustibililor pentru automobile**

La ora actuală, principala sursă de energie pentru autovehicule sunt combustibilii fosili. În Figura 1.9 este redată evoluția consumului de produse petroliere în perioada 1990-2017 [13]. Se poate observa că începând din 2012 consumul total de produse petroliere a scăzut sub nivelul corespunzător anului 1990, în principal datorită creșterii eficienței proceselor de combustie. În toată perioada reprezentată, cel mai mare consum a fost înregistrat în cazul motorinelor, urmat de benzine și de cele de tip kerosen. Sectorul de transport este cel mai mare consumator de produse petroliere, reprezentând 48,0% în anul 2017 din totalul produselor petroliere [13]. Uniunea Europeană este dependentă de import în proporție de 86,7% [13].

În zilele noastre există două mari provocări privind combustibilii fosili, care necesită o rezolvare urgentă:

- rezervele de petrol sunt limitate, estimările privind epuizarea lor fiind cuprinse între 40 și 100 de ani, fapt ce conduce la creșterea prețului combustibililor;
- în urma procesului de ardere a combustibililor de origine fosilă se generează o serie de substanțe poluante, care exercită o presiune din ce în ce mai mare asupra mediului, mai ales în marile aglomerații urbane.

Soluția comună a celor două probleme este înlocuirea combustibililor fosili cu unele surse regenerabile, reînnoibile, cu ciclul de carbon neutru sau negativ.

Deși în ultimul deceniu motoarele Diesel au progresat în pași mari privind creșterea randamentului acestora, reducând astfel costurile cu combustibil pe de o parte, concomitent cu reducerea poluării mediului pe de altă parte. În urma scandalului „Dieselgate”, urmat de o campanie de presă net defavorabilă, au apărut o serie de zvonuri și chiar măsuri efective privind restricționarea accesului autovehiculelor echipate cu MAC în unele zone dens populate. Ca urmare, în 2017 cota de piață a autoturismelor cu motorizare Diesel a scăzut cu 5,1%, de la 49,9% înregistrată în 2016, la 44,8% [14] și această scădere continuă (Figura 1.10).

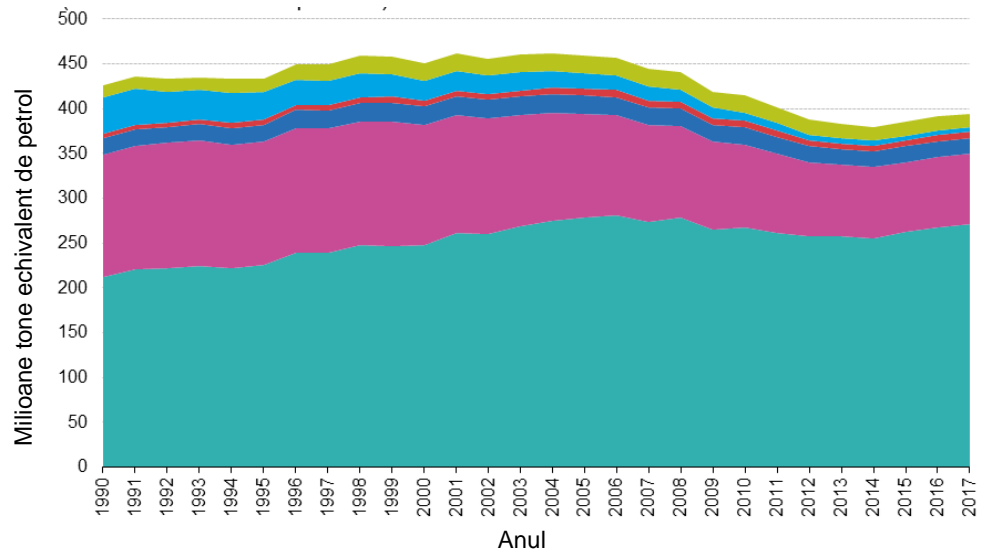


Figura 1.9. Evoluția consumului de combustibil de origine fosile în Uniunea Europeană, în milioane tone echivalent de petrol [13]:  
 ■ Alte produse petroliere; ■ Ulei pentru arzătoare; ■ Kerosen;  
 ■ Gaz petrolier lichefiat; ■ Benzină; ■ Motorină.

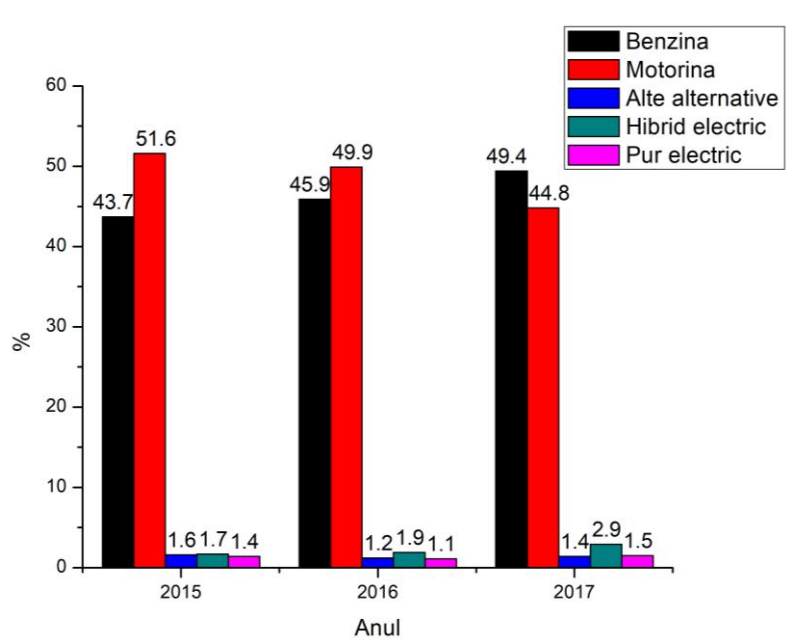


Figura 1.10. Evoluția cotei de piață a autoturismelor cu diferite tipuri de propulsii [14].

Scăderea vânzărilor de vehicule cu motorizări Diesel conduce inevitabil la scăderea cererii de motorină, care va fi însoțită de creșterea prețului combustibililor, deoarece va dezechilibra proporțiile actuale de benzină/motorină/kerosen care asigură cea mai rentabilă rafinare a petrolului.

Biocombustibilii ocupă un loc deosebit în structura combustibililor pentru motoarele cu ardere internă. Dacă în anii 1900 reprezentau doar o alternativă posibilă, după cel de-al doilea război mondial și criza de petrol din anii 1970 o soluție de urgență, în anii 1980 o alternativă viabilă ce poate înlocui pe cei de origine fosilă, astăzi sunt considerați mai mult ca o soluție pentru trecerea de la propulsiile bazate pe combustibilii fosili la unele cu poluare nulă, cum este considerată, de exemplu, propulsia electrică sau cu cea cu hidrogen.

Biocombustibilii fac parte din categoria combustibililor regenerabili, deoarece materia primă utilizată pentru fabricarea lor se reînnoiește periodic și într-un timp relativ scurt, de la ordinul lunilor la ordinul zecilor de ani.

Directivele 30/2003/CE și 28/2009/CE definesc peste 10 tipuri de combustibili ce pot fi considerați de origine biogenă, însă cele mai utilizate sunt:

- bioetanolul – etanolul produs din biomasă și/sau fracția biodegradabilă a deșeurilor, în vederea utilizării ca biocombustibil;
- biodieselul – esterul metilic produs din ulei vegetal sau din grăsimi de origine animală, de calitatea motorinei, în vederea utilizării ca și biocombustibil;
- biogazul – combustibilul gazos produs din biomasă și/sau din partea biodegradabilă a deșeurilor, care poate fi purificat până ajunge la calitatea gazului pur, în vederea utilizării ca biocombustibil sau gaz de lemn;
- uleiul vegetal – uleiul produs din plante oleaginoase prin presare, extracție sau alte proceduri comparabile, brut sau rafinat, dar nemodificat din punct de vedere chimic în cazul în care este compatibil cu tipul de motor implicat și cu cerințele corespunzătoare în privința emisiilor.

Diferențele esențiale dintre combustibilii clasici și biocombustibili sunt următoarele:

- biocombustibilii sunt regenerabili, fiind obținuți din surse reînnoibile (biodieselul și bioetanolul poate fi fabricat din plante care pot fi cultivate anual);

- față de combustibilii clasici, în care oxigenul este prezent doar în urme, biocombustibilii au un conținut de oxigen de cca. 10...50% (m/m),
- biodegradabilitatea biocombustibililor este de 80...100 de ori mai mare decât a combustibililor clasici, iar unii biocombustibili se pot biodegrada în proporție de aproape 100%.

Biocombustibilii prezintă o serie de avantaje, dintre care cele mai importante sunt:

- contribuie la creșterea securității energetice;
- echilibrează piața combustibililor prin prezența unor combustibili concurenți;
- reduc emisiile cu efect de seră;
- reduc poluarea mediului;
- sporesc veniturile sectorului agricol, înființând noi locuri de muncă și determinând concomitent exploatarea terenurilor agricole necultivate;
- reduc deșeurile agricole, forestiere și comunale,

însă există și o serie de dezavantaje:

- biocombustibilii de primă generație sunt fabricați din materii prime care pot avea și destinație alimentară;
- costurile de producție sunt superioare costurilor de producție ale combustibililor fosili, fapt recompensat prin ajutoarele de stat acordate firmelor producătoare de biocombustibili și eliminarea sau diminuarea accizelor impuse biocombustibililor.

Biocombustibilii de generația a doua elimină parțial handicapul celor din prima generație, având ca materie primă celuloza în cazul bioetanolului (produsele agricole secundare, deșeuri forestiere și cele provenite din industria lemnului), grăsimile de origine animală (produse secundare ale industriei agroalimentare) sau deșeurile comunale și cele provenite din crescătorii de animale (gunoiul de grajd).

Utilizarea biocombustibililor în motoarele cu ardere internă proiectate pentru a funcționa cu combustibili clasici presupune ca proprietățile biocombustibililor să fie identice cu cele ale combustibililor substituiți. De regulă, acest deziderat nu se poate realiza, motiv pentru care este nevoie de armonizarea biocombustibilului și a motorului cu ardere internă prin:

- adaptarea proprietăților biocombustibilului la motor (transesterificarea uleiurilor vegetale);

- adaptarea motorului la biocombustibil (motorul Elsbett care funcționează cu ulei vegetal);
- adaptarea atât a motorului cât și a combustibilului (motoare ce pot funcționa atât cu combustibili clasici cât și cu biocombustibili).

În practică, de cele mai multe ori se utilizează soluția din urmă.

Pe plan mondial, producția de bioetanol a crescut continuu, principalele materii prime fiind la ora actuală porumbul și trestia de zahăr, însă există o creștere semnificativă a celor de generație a doua (Figura 1.11). În cazul biodieselului, principala materie primă este uleiul vegetal, proporția generației a doua este mai modestă, însă în creștere (Figura 1.12) [15].

După declinul din 2010, producția europeană de biocombustibili lichizi prezintă din nou o creștere, mai ales în cazul producției de biodiesel (Figura 1.13).

Noua legislație europeană limitează utilizarea biodieselului obținut din anumite materii prime până în 2023 și stipulează eliminarea acestora până în 2030. Una din aceste materii prime este uleiul de palmier, deoarece datorită faptului că pentru cultivarea palmierilor țările producătoare de ulei de palmier recurg la despăduriri masive, punând în pericol ecosistemul și favorizând astfel schimbările climatice.

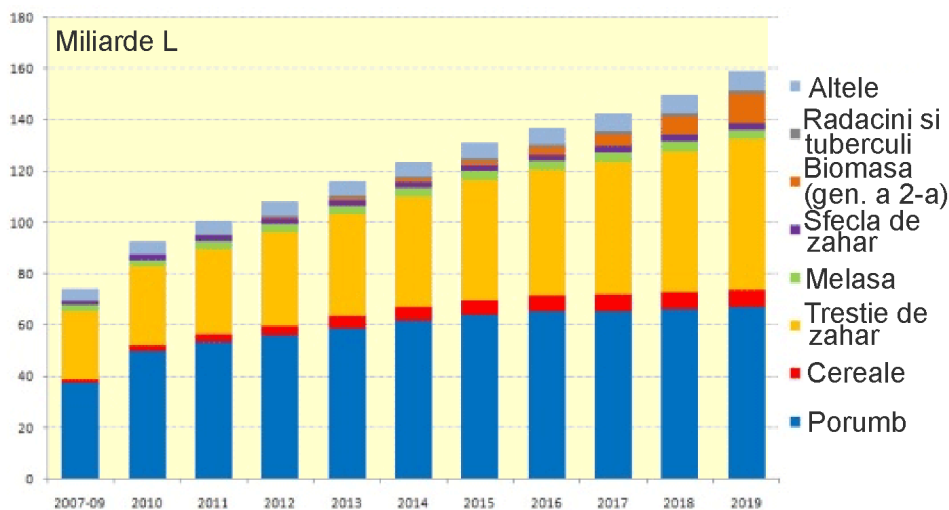


Figura 1.11. Evoluția producției mondiale de bioetanol din diferite materii prime [15].

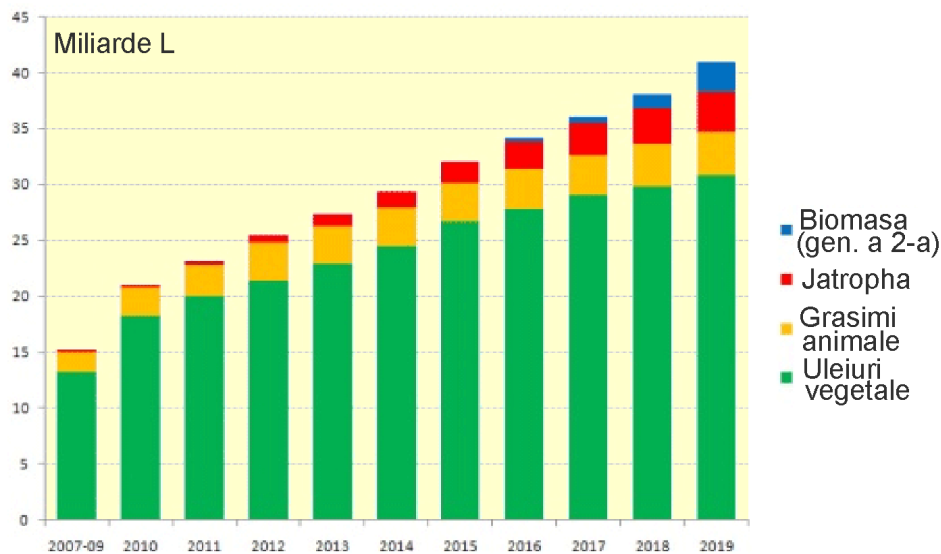


Figura 1.12. Evoluția producției mondiale de biodiesel din diferite materii prime [15].

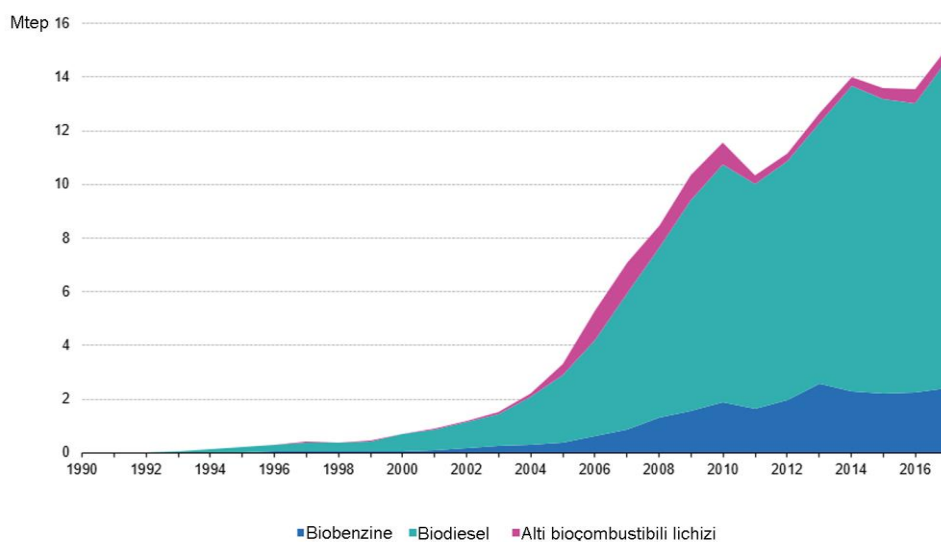


Figura 1.13. Evoluția producției de biocombustibili lichizi în Uniunea Europeană [16].

Producția de ulei de rapiță este susținută de legislația europeană, fiind subvenționată în numeroase state membre, în scopul menținerii competitivității față de uleiul de palmier din import, care este în scădere în ultimii ani (Figura 1.14).



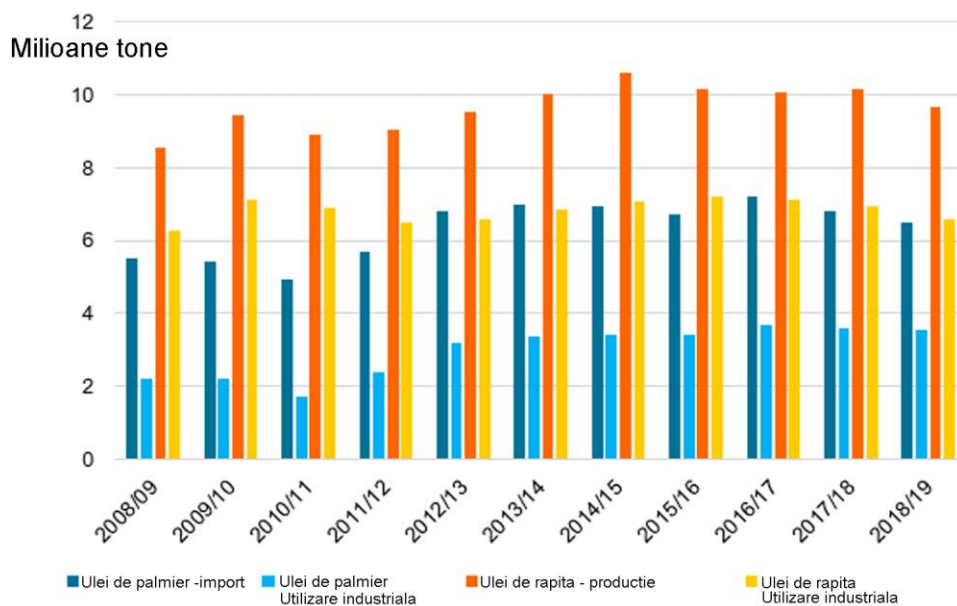


Figura 1.14. Evoluția producției de ulei de rapiță și a importurilor de ulei de palmier [17].

## 1.4. Concluzii privind tendințele actuale în industria de automobile

Industria de automobile trece printr-o transformare profundă, caracterizată în principal prin necesitatea identificării unor propulsii care să înlocuiască pe cea clasică, utilizată de peste 100 ani, în scopul reducerii poluării mediului. La ora actuală cea mai dezvoltată alternativă este cea pur electrică și cea hibridă încărcabilă. Aceste alternative prezintă însă o serie de probleme care necesită o soluție în viitor.

La nivelul vehiculelor utilitare și al camioanelor ponderea propulsiei electrice este la ora actuală mai mult ca modestă.

Autonomia vehiculelor electrice deși a crescut substanțial, rămâne în continuare în urmă în comparație cu propulsia clasică. Durata de reîncărcare a bateriilor este considerabilă, la ora actuală cea mai performantă soluție de încărcare (Tesla Supercharger) necesitând peste o oră pentru o reîncărcare completă.

Masa vehiculelor pur electrice și a celor hibride este considerabil mai mare, fapt ce conduce la descărcarea rapidă a bateriei electrice la viteze ridicate și accelerări repetate.

În unele zone neelectrificabile – cel puțin până la identificarea și implementarea unor surse de energie reînnoibile – stațiile de încărcare vor utiliza generatoare antrenate cu motoare cu ardere internă.

La ora actuală, oferta de modele de automobile cu propulsie hibridă este cu cca. 20% mai mare decât oferta modelelor având propulsie pur electrică, cea ce reflectă tendința spre care producătorii încearcă să orienteze piața de automobile pe termen mediu. Propulsiile hibride, având în configurație și un motor termic, vor utiliza în continuare combustibili clasici, biocombustibili sau hidrogen.

Vehiculele cu propulsie pur electrică sunt la ora actuală cu cel puțin 40% mai scumpe decât cele cu propulsie cu MAI [7].

Se poate concluda faptul că utilizarea motoarelor cu ardere internă în scopul propulsiei vehiculelor utilitare și a celor grele cel puțin pentru un termen mediu, care după aprecierea autorului, este de minim 20 de ani, va fi necesară în continuare. În consecință, înlocuirea parțială a combustibililor clasici cu altele mai prietenoase cu mediul rămâne o sarcină de rezolvat ce trebuie soluționată atât de producătorii de vehicule, cât și de cei de combustibili.

## **2. Determinarea experimentală a proprietăților principale ale constituenților și ale amestecurilor acestora**

### **2.1. Materiale, aparate și metode utilizate**

#### **2.1.1. Materiale utilizate**

În cadrul cercetărilor experimentale au fost utilizați combustibili comerciali standardizați. Motorina de tip Super Euro L a fost achiziționată de la compania Lukoil și a corespuns standardului de calitate SR EN 590. Deoarece în Europa materia primă principală pentru fabricarea biodieselului este uleiul de rapiță, biodieselul utilizat a fost fabricat din ulei de rapiță degumat de către Institutul de Cercetări pentru Instrumentație Analitică, filiala Cluj-Napoca și a corespuns standardului SR EN 14214. Bioetanolul a fost achiziționat de la firma Bio Fuel Energy și a corespuns standardului de calitate SR EN 15376.

#### **2.1.2. Aparate și metode utilizate**

Aparatele și metodele de măsurare utilizate sunt prezentate în Tabelul 2.1. Înaintea efectuării măsurărilor, aparatele au fost verificate și calibrate în mod corespunzător.

## **2.2. Determinarea experimentală a proprietăților principale ale constituenților**

#### **2.2.1. Compoziția constituenților**

Compoziția celor trei constituenți utilizați este foarte diferită, motorina fiind compusă din peste 200 de hidrocarburi diferite, biodieselul din 8-25 de esteri metilici ai acizilor grași (EMAG), iar bioetanolul este o substanță pură. În ceea ce privește compoziția motorinelor, stan-

dardul de calitate SR EN 590 reglementează doar conținutul de hidrocarburi aromatice policiclice, conținutul de sulf, conținutul de apă și conținutul de biodiesel.

Tabelul 2.1. Aparatura utilizată la determinarea proprietăților fizico-chimice principale ale constituenților

| Proprietatea                                      | Metoda de măsurare   | Aparatul utilizat                                    |
|---|--|--|
| Cifra cetanică/<br>Indicele cetanic               | Analiză în infraroșu apropiat, corelat cu ASTM D613 și ASTM D976 | IROX Diesel Analyzer, Grabner Instruments, Austria   |
| Densitatea  | SR EN ISO 12185  | SVM 3000 – Anton Paar GmbH, Austria                  |
| Viscozitatea cinematică                           | ASTM D 7042  | SVM 3000 – Anton Paar GmbH, Austria                  |
| Tensiunea superficială                            | stalagmometrică  | Stalagmetru drept, 8 mL                              |
| Conținutul de sulf                                | ASTM D 5453  | ANTEK 9000 – PAC, SUA                                |
| Conținutul de apă                                 | SR EN ISO 12937  | Predicta OM 1000, Model CA21 – a1-envirotech, Anglia |
| Conținutul de hidrocarburi aromatice              | Corelat cu ASTM D5186  | IROX Diesel Analyzer, Grabner Instruments, Austria   |
| Conținutul de hidrocarburi aromatice polinucleare | Corelat cu EN 12916 și ASTM D5186                                | IROX Diesel Analyzer, Grabner Instruments, Austria   |
| Conținut de EMAG                                  | Corelat cu SR EN 14078   | IROX Diesel Analyzer, Grabner Instruments, Austria   |
| Temperatura de inflamabilitate                    | SR EN ISO 2719   | HFP 339 – Herzog, Germania                           |
| Temperatura limită de filtrabilitate              | SR EN 116  | FPP 5Gs ISL, – Franța                                |
| Puterea de lubrifiere                             | SR EN ISO 12156  | HFRR – PCS Instruments, Anglia                       |
| Compoziția de EMAG                                | SR EN 14105  | Gaz-cromatograf HP 6890 – Agilent, SUA               |
| Caracteristica de distilare                       | ASTM D7345   | PMD 110 – ISL – PAC, SUA                             |

Conținutul de hidrocarburi aromatice și de biodiesel au fost determinate cu ajutorul aparatului IROX Diesel Analyzer, iar rezultatele sunt redată în Tabelul 2.2. Conținutul de hidrocarburi aromatice polici-

clice s-a încadrat în limitele prevăzute de standardele în vigoare, iar conținutul de biodiesel este neglijabilă.

Tabelul 2.2. Compoziția motorinei

| Categoria de compuși                              | Unitatea de măsură | Valoarea măsurată | Limita prevăzută de SR EN 590 |
|---|--------------------|-------------------|-------------------------------|
| Conținutul de hidrocarburi aromatice              | % (m/m)            | 42,57             | -                             |
| Conținutul de hidrocarburi aromatice polinucleare | % (m/m)            | 7,50              | max. 11                       |
| Conținutul de EMAG                                | % (v/v)            | 0,01              | max. 7                        |

Standardul de calitate a biodieselului prevede o compoziție mai severă, existând o serie de limitări privind existența unor substanțe nocive.

Compoziția biodieselului a fost determinată prin gaz-cromatografic de tip HP 6890, iar rezultatele sunt cuprinse în Tabelul 2.3.

Tabelul 2.3. Compoziția de metil esteri ai acizilor grași a biodieselului fabricat din ulei de rapiță

| Metil esterul <sup>*)</sup> | Concentrația, % m/m |          |
|-----------------------------|---------------------|----------|
|                             | măsurată            | limitări |
| C10:0                       | 0,02                | -        |
| C12:0                       | 0,03                | -        |
| C14:0                       | 0,83                | -        |
| C16:0                       | 3,82                | -        |
| C18:0                       | 1,77                | -        |
| C20:0                       | 0,55                | -        |
| C22:0                       | 1,15                | -        |
| C24:0                       | -                   | -        |
| C16:1                       | 0,12                | -        |
| C18:1                       | 58,33               | -        |
| C20:1                       | 0,67                | -        |
| C22:1                       | 0,22                | -        |
| C18:2                       | 21,27               | -        |
| C18:3                       | 11,22               | Max. 12  |

<sup>\*)</sup>C<sub>x</sub>:y - x - numărul atomilor de carbon;  
y - numărul de legături duble

O altă modalitate de caracterizare a compoziției combustibililor este curba de distilare fracționată a acestora ce pune în evidență concentrațiile hidrocarburilor cu diferite temperaturi de fierbere. Curbele

obținute în cazul motorinei și biodieselului cu ajutorul aparatului PMD-110 sunt prezentate în Figura 2.1. Se poate constata faptul că pe când intervalul de distilare a biodieselului este larg (155 – 350 °C), cea a biodieselului este foarte îngust (290 – 356 °C).

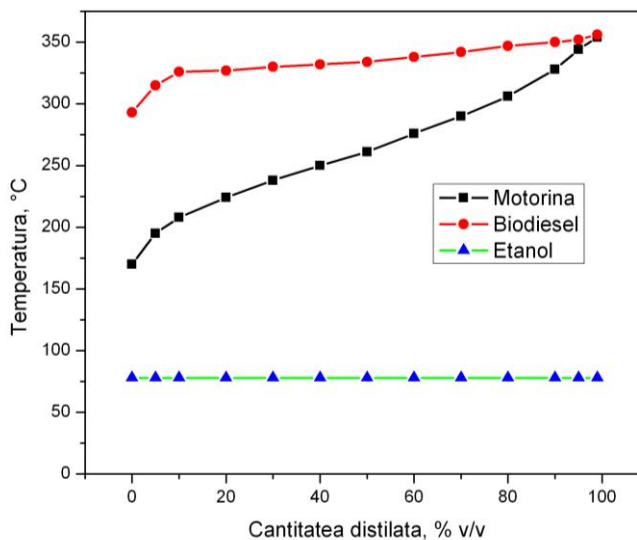


Figura 2.1. Curbele de distilare fracționată ale constituenților.

Datorită solubilității limitate a etanolului în motorină, compoziția amestecurilor a fost aleasă astfel încât conținutul de biocombustibil să fie până la 30%, respectând o distribuție simetrică privind concentrația biodieselului și a etanolului. Amestecurile au fost preparate la 25 °C într-o încăpăre cu temperatură controlată prin dozare volumetrică, deoarece conținutul de biocombustibil în standardele de calitate este specificată în acest fel. Pentru dozarea amestecurilor a fost folosit sticlărie de laborator de precizie clasa A.

Amestecurile au fost denumite sugestiv, astfel ca aceasta să reflecte compoziția acestora. De exemplu, B10M85E5 indică un amestec format din 10% biodiesel, 85% motorină și 5% etanol.

### 2.2.2. Densitatea constituenților

Valorile experimentale ale densității constituenților sunt redată în Tabelul 2.4.

Tabelul 2.4. Densitatea constituenților la diferite temperaturi, în g/mL

| Temperatura, K | Biodiesel | Motorină | Etanol  |
|----------------|-----------|----------|---------|
| 273,15         | 0,89610   | 0,84923  | 0,80755 |
| 278,15         | 0,89240   | 0,84570  | 0,80340 |
| 283,15         | 0,88877   | 0,84217  | 0,79920 |
| 288,15         | 0,88510   | 0,83860  | 0,79485 |
| 293,15         | 0,88143   | 0,83500  | 0,79060 |
| 298,15         | 0,87780   | 0,83147  | 0,78625 |
| 303,15         | 0,87410   | 0,82787  | 0,78190 |
| 308,15         | 0,87047   | 0,82427  | 0,77750 |
| 313,15         | 0,86687   | 0,82073  | 0,77295 |
| 318,15         | 0,86323   | 0,81713  | 0,76845 |
| 323,15         | 0,85960   | 0,81360  | 0,76390 |
| 328,15         | 0,85603   | 0,81007  | 0,75925 |
| 333,15         | 0,85237   | 0,80650  | 0,75455 |
| 338,15         | 0,84877   | 0,80283  | 0,74975 |
| 343,15         | 0,84513   | 0,79927  | 0,74490 |
| 348,15         | 0,84153   | 0,79573  | -       |
| 353,15         | 0,83783   | 0,79213  | -       |
| 358,15         | 0,83420   | 0,78853  | -       |
| 363,15         | 0,83063   | 0,78497  | -       |
| 368,15         | 0,82700   | 0,78150  | -       |
| 373,15         | 0,82340   | 0,77797  | -       |

Variația densității celor trei combustibili este redată în Figura 2.2. Se poate constata că cea mai mare influență a temperaturii asupra densității se manifestă în cazul etanolului, urmat de biodiesel și motorină.

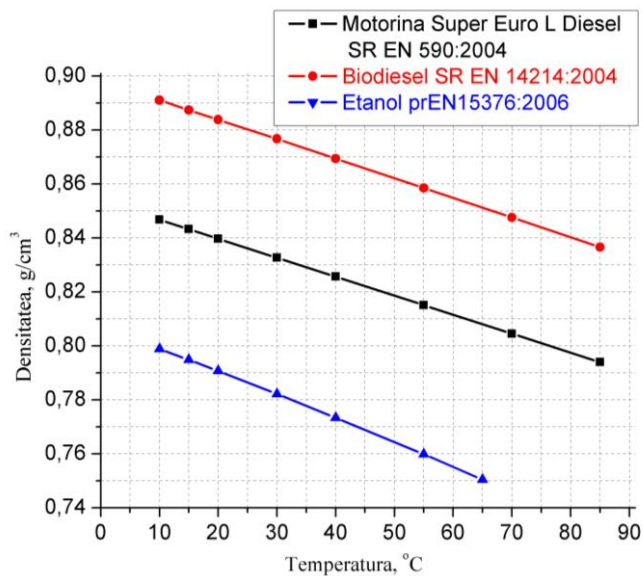


Figura 2.2. Variația densității constituenților cu temperatura.

### 2.2.3. Viscositatea constituenților

Valorile măsurate ale viscozității constituenților sunt redată în Tabelul 2.5, iar variația viscozității constituenților cu temperatura este arătată în Figura 2.3. Viscositatea biodieselului scade cel mai rapid cu creșterea temperaturii, cea mai mică influență constatându-se în cazul etanolului.

Se poate observa că densitatea și viscozitatea mai ridicată a biodieselului pot fi compensate prin adăugarea etanolului.

Tabelul 2.5. Viscositatea constituenților la diferite temperaturi, în mm<sup>2</sup>/s

| Constituent | Temperatura |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 273.15      | 283.15 | 288.15 | 293.15 | 303.15 | 313.15 | 323.15 | 333.15 | 343.15 |
| Biodiesel   | 14.203      | 10.101 | 8.674  | 7.528  | 5.827  | 4.651  | 3.809  | 3.186  | 2.712  |
| Motorină    | 7.280       | 5.315  | 4.622  | 4.060  | 3.216  | 2.620  | 2.187  | 1.861  | 1.607  |
| Etanol      | 2.517       | 2.025  | 1.830  | 1.658  | 1.374  | 1.134  | 0.948  | 0.804  | 0.684  |



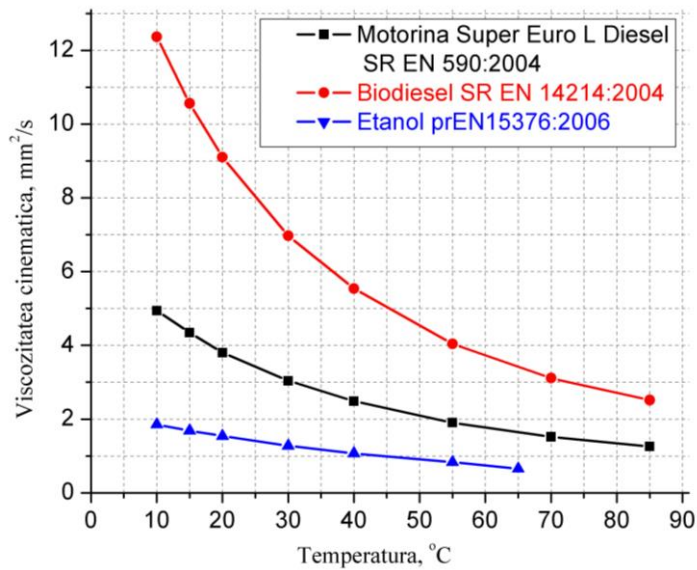


Figura 2.3. Variația viscozității cinematice a constituenților cu temperatura.

#### 2.2.4. Alte proprietăți ale constituenților

Utilizând metodele și aparate prezentate anterior, au fost determinate principalele proprietăți fizico-chimice ale constituenților. Valorile obținute în acest sens, sunt prezentate în Tabelul 2.6.

### 2.3. Proprietățile principale ale amestecurilor

#### 2.3.1. Prepararea amestecurilor

Datorită miscibilității foarte limitate a bioetanolului în motorină, la alegerea compoziției amestecurilor binare și ternare s-a urmărit obținerea unor amestecuri cu până la 30% v/v biocombustibil, respectând o distribuție simetrică privind concentrația biodieselului și a etanolului. Amestecurile au fost preparate la temperatura de 20 °C prin dozarea volumetrică, deoarece conținutul de biocombustibil în standardele de calitate este specificată în acest fel. Pentru dozarea amestecurilor au fost folosite pipete de precizie clasa A, preparând 12 probe binare și 15 probe ternare, fiecare a câte 200 mL. Notațiile utilizate sunt cuprinse în Tabelul 2.7.

Tabelul 2.6. Principalele proprietăți fizico-chimice ale constituenților\*)

| Proprietatea                                      | Unitatea de măsură | Valoarea măsurată     |                       |                              |
|---|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
|   |                    | Biodiesel             | Motorină              | Etanol                       |
| Conținutul de carbon                              | % (m/m)            | 76,97                 | 85,21                 | 52,14                        |
| Conținutul de hidrogen                            | % (m/m)            | 12,24                 | 14,79                 | 13,13                        |
| Conținutul de oxigen                              | % (m/m)            | 10,79                 | 0                     | 34,73                        |
| Conținutul de sulf                                | mg/kg              | 9,50<br>(max. 10)     | 6,80<br>(max. 10)     | 1,62<br>(max. 10)            |
| Conținutul de apă                                 | mg/kg              | 448<br>(max. 500)     | 114<br>(max. 200)     | 0,7 % (v/v)<br>(max. 3% v/v) |
| Conținutul de hidrocarburi aromatice              | % (m/m)            | -                     | 42,57                 | -                            |
| Conținutul de hidrocarburi aromatice polinucleare | % (m/m)            | -                     | 7,50<br>(max. 11)     | -                            |
| Conținut de EMAG                                  | % (v/v)            | -                     | 0,01<br>(max. 7)      | -                            |
| Cifra cetanică                                    | -                  | 51<br>(min. 51)       | 51,3<br>(min. 51)     | 8                            |
| Indicele cetanic                                  | -                  | -                     | 48,47<br>(min. 46)    | -                            |
| Densitatea la 15 °C                               | kg/m <sup>3</sup>  | 877,80<br>(860 – 900) | 831,47<br>(820 – 845) | 786,25                       |
| Viscozitatea cinematică la 40 °C                  | mm <sup>2</sup> /s | 4,6512<br>(3,5 – 5,0) | 2,6204<br>(2,0-4,5)   | 1,1338                       |
| Tensiunea superficială                            | mN/m               | 38.60                 | 28.20                 | 19.19                        |
| Puterea calorică inferioară                       | kJ/kg              | 39760                 | 42600                 | 26805                        |
| Temperatura de inflamabilitate                    | °C                 | >140<br>(min. 101)    | 68<br>(min. 55)       | 13<br>(n.s.)                 |
| Temperatura limită de filtrabilitate              | °C                 | -14                   | -9                    | -                            |

\*) – valorile prezentate între paranteze sunt limitele impuse prin standarde

Tabelul 2.7. Notarea amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol

| Amestec | Cod combustibil | Amestec | Cod combustibil | Amestec | Cod combustibil | Amestec | Cod combustibil |
|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| BME(1)  | B30M70          | BME(8)  | B15M75E10       | BME(15) | B10M90          | BME(22) | M70E30          |
| BME(2)  | B25M70E5        | BME(9)  | B15M80E5        | BME(16) | B5M70E25        | BME(23) | M75E25          |
| BME(3)  | B25M75          | BME(10) | B15M85          | BME(17) | B5M75E20        | BME(24) | M80E20          |
| BME(4)  | B20M70E10       | BME(11) | B10M70E20       | BME(18) | B5M80E15        | BME(25) | M85E15          |
| BME(5)  | B20M75E5        | BME(12) | B10M75E15       | BME(19) | B5M85E10        | BME(26) | M90E10          |
| BME(6)  | B20M80          | BME(13) | B10M80E10       | BME(20) | B5M90E5         | BME(27) | M95E5           |
| BME(7)  | B15M70E15       | BME(14) | B10M85E5        | BME(21) | B5M95           | BME(28) | M100            |

### **2.3.2. Evaluarea miscibilității și stabilității amestecurilor la diferite temperaturi**

Deoarece stabilitatea la depozitare este una din principalele cerințe impuse combustibililor, o atenție deosebită a fost dată evaluării acesteia. Stabilitatea este puternic influențată de temperatură, aceasta fiind evaluată la patru temperaturi diferite: 20, 15, 0 și -8 °C.

Stabilitatea amestecurilor a fost evaluată vizual, după ce acestea au fost păstrate la temperaturile menționate timp de două săptămâni. Stabilitatea amestecurilor este determinată de miscibilitatea biocombustibililor în motorină la o anumită temperatură, în primă fază fiind evaluată dependența miscibilității și stabilității amestecurilor binare.

Aspectul amestecurilor binare de biodiesel-motorină și motorină-bioetanol la temperaturile de 20, 0 și -8 °C sunt redată în Figura 2.4, respectiv Figura 2.5.

Amestecurile binare de motorină-biodiesel cercetate au format amestecuri omogene la preparare și au fost stabile la temperatura de 20 °C. Odată cu scăderea temperaturii, amestecurile au devenit tulburi, astfel încât la temperatura de -8 °C doar amestecul B5M95 a rămas clar și transparent. Fenomenul se explică prin faptul că temperatura minimă de filtrabilitate a motorinei utilizate a fost de -9 °C, iar temperatura de tulburare de doar de -3 °C.

Amestecurile de motorină-bioetanol au fost instabile la toate concentrațiile de etanol și la toate temperaturile de evaluare, mai puțin amestecul M95E5, care la temperatura de preparare a rămas un amestec omogen și transparent.

Miscibilitatea și stabilitatea amestecurilor ternare au fost evaluate la temperatura de preparare (20 °C), precum și la trei temperaturi mai coborâte (15, 0 și -8 °C).

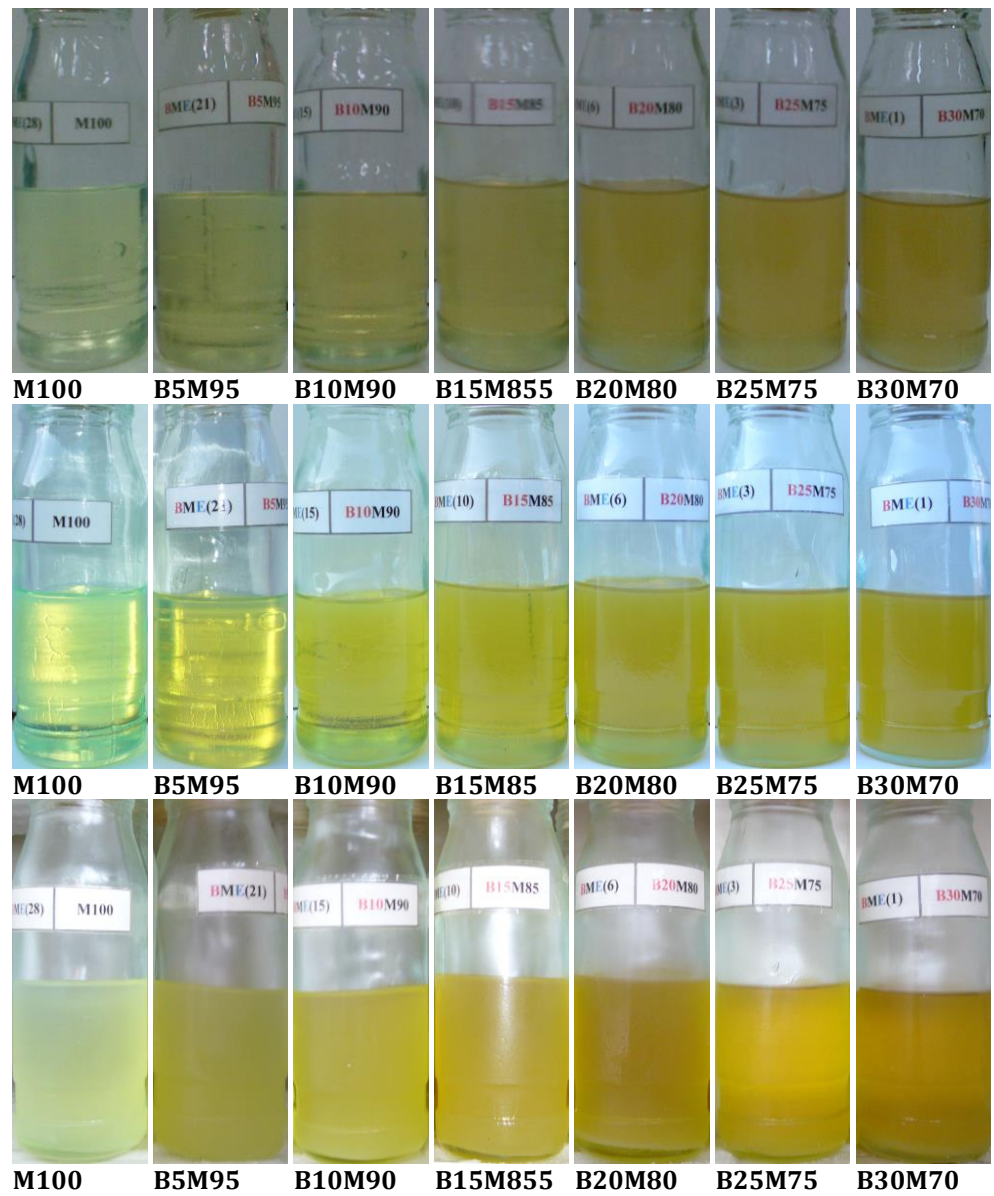


Figura 2.4. Aspectul amestecurile binare biodiesel-motorină la diferite temperaturi (15 °C sus; 0 °C mijloc; -8 °C jos).



Figura 2.5. Aspectul amestecurilor binare motorină-bioetanol la diferite temperaturi (15 °C sus; 0 °C mijloc; -8 °C jos).

Pe durata preparării amestecurilor s-a observat acestora înainte și după omogenizare. S-au constatat următoarele:

- la dozare, componenții amestecurilor au format straturi succesive în vasul de amestec, în ordinea densităților;
- bioetanolul s-a difuzat parțial în stratul de motorină, formând o dispersie albicioasă;

- amestecurile cu un conținut mai mare de 10% biodiesel fără bioetanol, după omogenizare au format un amestec turbure, semiopac;
- amestecurile care conțineau bioetanol au devenit limpezi și transparente după omogenizare, chiar la proporții reduse de bioetanol (5% v/v).

Constatările înregistrate la preparare sunt redată în Figura 2.6.

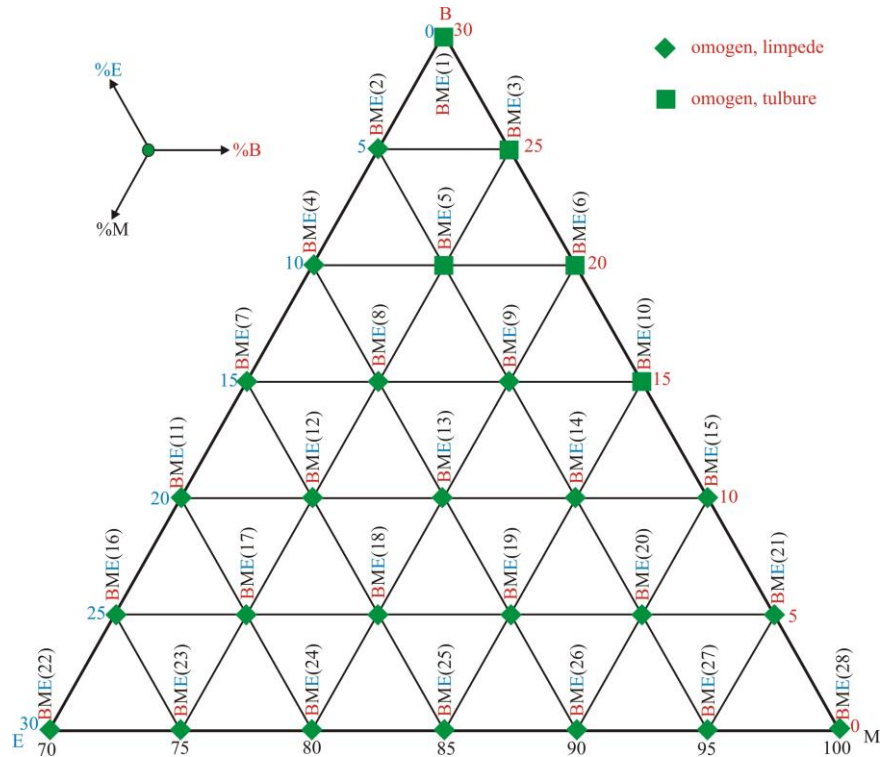


Figura 2.6. Aprecierea amestecurilor la preparare (20 °C).

Amestecurile au fost răcite la temperatura de 15 °C și păstrate la această temperatură două săptămâni. Observațiile calitative privind amestecurile de BME studiate la această temperatură sunt redată în Figura 2.7. S-au constatat următoarele:

- doar amestecurile cu un conținut de până la 10% bioetanol au rămas stabile, cu două excepții: BME(7)–B15M70E15 și BME(12)–B10M75E15;



- celelalte amestecuri s-au separat în două straturi: amestec bioetanol-fracțiuni ușoare de motorină și amestec biodiesel-motorină.

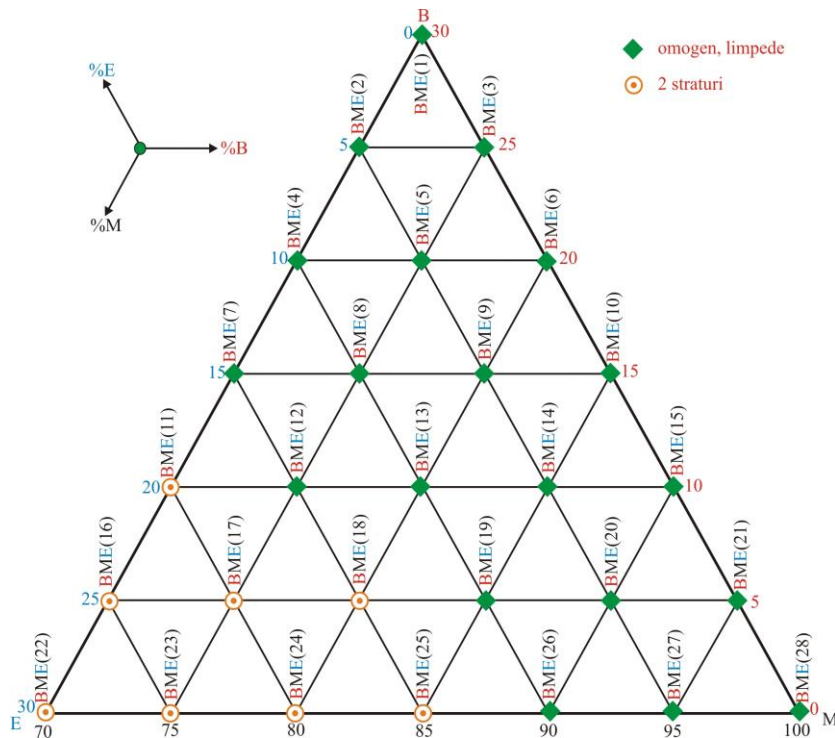


Figura 2.7. Aprecierea amestecurilor la temperatura de 15 °C.

Probele de combustibili au fost răcite în continuare la temperatura de 0 °C și păstrate la această temperatură două săptămâni. După această perioadă amestecurile de BME au putut fi grupate în:

- omogene și limpezi;
- omogene și tulburi;
- separate în două straturi (bioetanol + amestec motorină-biodiesel).

Observațiile calitative privind aspectul celor 28 de combustibili studiați sunt redată în Figura 2.8. Au fost constatate următoarele:

- amestecurile conținând până la 5% v/v bioetanol au rămas clare și limpezi;
- cele care conțineau 25, respectiv 30% v/v bioetanol s-au separat în două straturi (bioetanol + amestec motorină-bio-

- diesel), la fel și amestecurile binare bioetanol-motorină cu un conținut mai mare de 5% v/v bioetanol;
- amestecurile ternare care conțineau cel puțin 5% biodiesel au rămas clare și transparente.

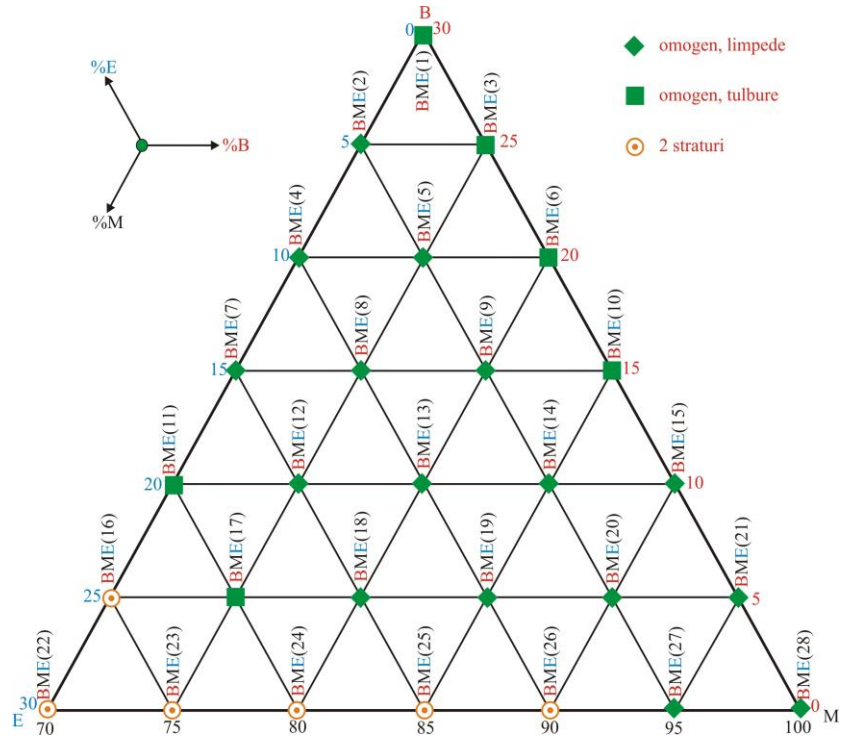


Figura 2.8. Aprecierea amestecurilor la temperatura de 0 °C.

În cazul în care probele de combustibili au fost răcite la temperatura de -8 °C și menținute la această temperatură timp de două săptămâni, au fost întâlnite cinci situații:

- amestec omogen și limpede;
- amestec limpede și sediment albicios (cristale de gheață);
- amestec omogen, dar tulbure;
- separare în două straturi (bioetanol + amestec motorină-biodiesel);
- separare în patru straturi.

Această ultimă categorie este formată dintr-un strat de etanol, urmat de un strat de emulsie de parafine, amestec motorină-biodiesel și



emulsie formată din cristale de gheață și amestec motorină-biodiesel. Observațiile calitative sunt prezentate în Figura 2.9.

Datorită conținutului ridicat de apă a componentelor de biocombustibili, la această temperatură (-8 °C) doar amestecul de M70B30 a rămas limpede și clar, fără sedimente de emulsii apoase (gheață).

S-a constatat, de asemenea, că doar amestecurile cu un conținut de max. 15% v/v bioetanol au rămas omogene.

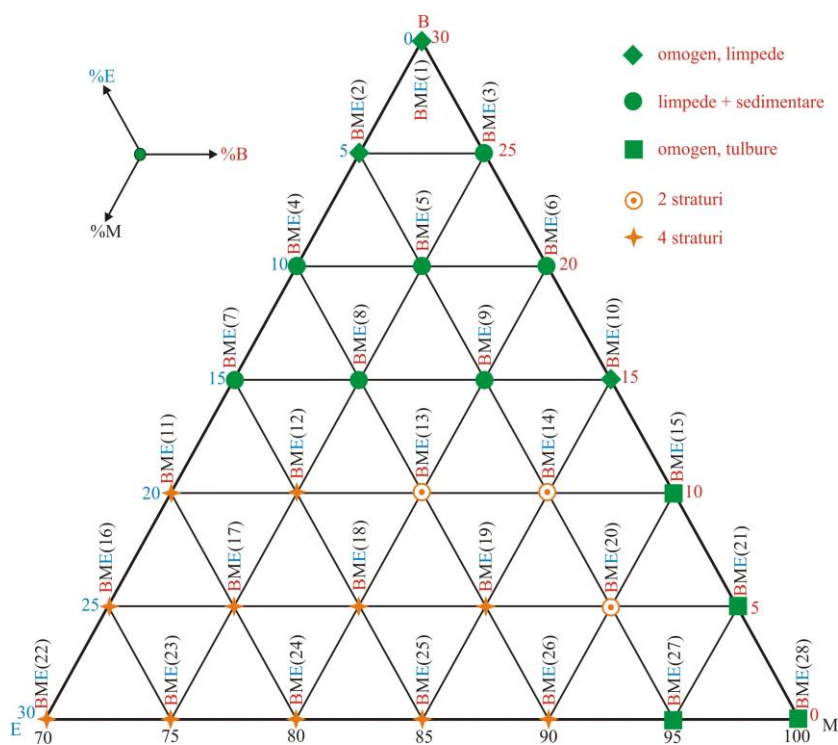


Figura 2.9. Aprecierea amestecurilor la temperatura de -8 °C.

### 2.3.3. Densitatea amestecurilor de BME

Rezultatele experimentale privind densitatea amestecurilor de BME sunt prezentate în Tabelul 2.8. Așa cum era de așteptat, densitatea amestecurilor scade cu creșterea temperaturii și a conținutului de etanol și crește odată cu creșterea conținutului de biodiesel.

Tabelul 2.8. Valorile experimentale ale densității amestecurilor de BME, în g/mL

| Amestecuri | Temperatura, K |         |         |         |         |         |         |         |
|------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | 273,15         | 278,15  | 283,15  | 288,15  | 293,15  | 298,15  | 303,15  | 308,15  |
| B25M70E5   | 0,85941        | 0,85561 | 0,85182 | 0,84802 | 0,84423 | 0,84043 | 0,83663 | 0,83284 |
| B20M70E10  | 0,85485        | 0,85114 | 0,84741 | 0,84365 | 0,83988 | 0,83609 | 0,83228 | 0,82845 |
| B20M75E5   | 0,85612        | 0,85251 | 0,84889 | 0,84525 | 0,84160 | 0,83792 | 0,83423 | 0,83053 |
| B15M70E15  | 0,85166        | 0,84773 | 0,84380 | 0,83986 | 0,83592 | 0,83197 | 0,82802 | 0,82407 |
| B15M75E10  | 0,85197        | 0,84828 | 0,84457 | 0,84085 | 0,83712 | 0,83338 | 0,82962 | 0,82585 |
| B15M80E5   | 0,85428        | 0,85064 | 0,84700 | 0,84333 | 0,83965 | 0,83596 | 0,83225 | 0,82852 |
| B10M70E20  | 0,84840        | 0,84446 | 0,84049 | 0,83650 | 0,83250 | 0,82847 | 0,82443 | 0,82037 |
| B10M75E15  | 0,84891        | 0,84515 | 0,84137 | 0,83756 | 0,83373 | 0,82988 | 0,82600 | 0,82210 |
| B10M80E10  | 0,84978        | 0,84621 | 0,84259 | 0,83895 | 0,83527 | 0,83156 | 0,82781 | 0,82403 |
| B10M85E5   | 0,85147        | 0,84784 | 0,84420 | 0,84055 | 0,83689 | 0,83321 | 0,82952 | 0,82582 |
| B5M70E25   | 0,84676        | 0,84282 | 0,83884 | 0,83481 | 0,83073 | 0,82662 | 0,82245 | 0,81825 |
| B5M75E20   | 0,84619        | 0,84236 | 0,83852 | 0,83464 | 0,83074 | 0,82682 | 0,82287 | 0,81889 |
| B5M80E15   | 0,84700        | 0,84330 | 0,83955 | 0,83576 | 0,83193 | 0,82805 | 0,82413 | 0,82018 |
| B5M85E10   | 0,84854        | 0,84475 | 0,84094 | 0,83712 | 0,83329 | 0,82945 | 0,82561 | 0,82175 |
| B5M90E5    | 0,84967        | 0,84602 | 0,84236 | 0,83869 | 0,83500 | 0,83131 | 0,82761 | 0,82389 |

Tabelul 2.8 (Continuare)

| Amestecuri | Temperatura, K |         |         |         |         |         |         |  |
|------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
|            | 313,15         | 318,15  | 323,15  | 328,15  | 333,15  | 338,15  | 343,15  |  |
| B25M70E5   | 0,82905        | 0,82525 | 0,82146 | 0,81767 | 0,81387 | 0,81008 | 0,80629 |  |
| B20M70E10  | 0,82460        | 0,82073 | 0,81684 | 0,81293 | 0,80900 | 0,80505 | 0,80109 |  |
| B20M75E5   | 0,82680        | 0,82306 | 0,81931 | 0,81554 | 0,81175 | 0,80794 | 0,80411 |  |
| B15M70E15  | 0,82011        | 0,81614 | 0,81217 | 0,80820 | 0,80422 | 0,80024 | 0,79625 |  |
| B15M75E10  | 0,82207        | 0,81828 | 0,81447 | 0,81064 | 0,80681 | 0,80296 | 0,79910 |  |
| B15M80E5   | 0,82478        | 0,82102 | 0,81724 | 0,81345 | 0,80964 | 0,80582 | 0,80198 |  |
| B10M70E20  | 0,81629        | 0,81219 | 0,80808 | 0,80394 | 0,79979 | 0,79561 | 0,79142 |  |
| B10M75E15  | 0,81817        | 0,81422 | 0,81025 | 0,80625 | 0,80223 | 0,79819 | 0,79412 |  |
| B10M80E10  | 0,82022        | 0,81638 | 0,81250 | 0,80859 | 0,80464 | 0,80066 | 0,79665 |  |
| B10M85E5   | 0,82210        | 0,81837 | 0,81463 | 0,81088 | 0,80711 | 0,80333 | 0,79954 |  |
| B5M70E25   | 0,81400        | 0,80970 | 0,80536 | 0,80097 | 0,79654 | 0,79207 | 0,78755 |  |
| B5M75E20   | 0,81489        | 0,81085 | 0,80680 | 0,80272 | 0,79861 | 0,79447 | 0,79031 |  |
| B5M80E15   | 0,81618        | 0,81213 | 0,80805 | 0,80392 | 0,79975 | 0,79554 | 0,79129 |  |
| B5M85E10   | 0,81788        | 0,81400 | 0,81011 | 0,80621 | 0,80230 | 0,79838 | 0,79445 |  |
| B5M90E5    | 0,82017        | 0,81643 | 0,81268 | 0,80892 | 0,80515 | 0,80137 | 0,79758 |  |

### 2.3.4. Viscositatea amestecurilor de BME

Valorile viscozității cinematice ale amestecurilor la diferite temperaturi sunt redată în Tabelul 2.9. Viscositatea scade cu temperatura și cu concentrația de etanol și crește cu concentrația de biodiesel.

Tabelul 2.9. Valorile măsurate ale viscozității amestecurilor, în mm<sup>2</sup>/s

| Amestecuri | Temperatura, K |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | 273,15         | 283,15 | 288,15 | 293,15 | 303,15 | 313,15 | 323,15 | 333,15 | 343,15 |
| B25M70E5   | 7,7078         | 5,6403 | 4,9055 | 4,3065 | 3,4006 | 2,7560 | 2,2700 | 1,9234 | 1,6353 |
| B20M70E10  | 6,7665         | 4,9985 | 4,3634 | 3,8426 | 3,0472 | 2,4796 | 2,0376 | 1,7260 | 1,4507 |
| B20M75E5   | 7,3144         | 5,3689 | 4,6756 | 4,1097 | 3,2522 | 2,6447 | 2,1996 | 1,8632 | 1,6028 |
| B15M70E15  | 6,1086         | 4,4901 | 3,9310 | 3,4706 | 2,7649 | 2,2571 | 1,8797 | 1,5929 | 1,3386 |
| B15M75E10  | 6,4140         | 4,7509 | 4,1525 | 3,6609 | 2,9107 | 2,3739 | 1,9772 | 1,6754 | 1,4098 |
| B15M80E5   | 6,9352         | 5,1041 | 4,4504 | 3,9158 | 3,1045 | 2,5269 | 2,0973 | 1,7624 | 1,5211 |
| B10M70E20  | 6,0191         | 4,1759 | 3,6364 | 3,2018 | 2,5449 | 2,0727 | 1,7163 | 1,4282 | 1,1831 |
| B10M75E15  | 6,0692         | 4,3402 | 3,7923 | 3,3460 | 2,6654 | 2,1760 | 1,8123 | 1,5292 | 1,2714 |
| B10M80E10  | 6,2043         | 4,5759 | 3,9875 | 3,5216 | 2,7889 | 2,2746 | 1,8921 | 1,5823 | 1,3149 |
| B10M85E5   | 6,5812         | 4,8560 | 4,2392 | 3,7361 | 2,9683 | 2,4205 | 2,0143 | 1,6964 | 1,4245 |
| B5M70E25   | 5,8850         | 4,0306 | 3,4747 | 3,0217 | 2,3848 | 1,9307 | 1,5922 | 1,3237 | 1,0974 |
| B5M75E20   | 5,9365         | 4,1181 | 3,5492 | 3,0951 | 2,4509 | 1,9944 | 1,6572 | 1,3997 | 1,1525 |
| B5M80E15   | 5,9948         | 4,1723 | 3,6278 | 3,1962 | 2,5437 | 2,0744 | 1,7265 | 1,4435 | 1,1937 |
| B5M85E10   | 6,0503         | 4,3320 | 3,7942 | 3,3552 | 2,6650 | 2,1759 | 1,8145 | 1,5197 | 1,2635 |
| B5M90E5    | 6,6691         | 4,9198 | 4,2953 | 3,7927 | 2,9850 | 2,4353 | 2,0302 | 1,7232 | 1,4388 |

## 2.4. Concluzii privind proprietățile constituenților și ale amestecurilor

Principalele concluzii ce se pot formula în urma acestui capitol sunt:

1. densitatea, viscozitatea și tensiunea mai redusă a etanolului compensează pe cele ale biodieselului;
2. stabilitatea amestecurilor scade cu creșterea concentrației de etanol, biodieselul acționează ca un surfactant, îmbunătățind stabilitatea amestecurilor;
3. cifra cetanică și temperatura de inflamabilitate foarte reduse a etanolului afectează în mod negativ cifra cetanică și temperatura de inflamabilitate a amestecurilor;
4. densitatea și viscozitatea scad cu creșterea temperaturii și a concentrației de etanol și cresc odată cu creșterea aportului de biodiesel.



### 3. Modelarea densității și viscozității amestecurilor ternare de biodiesel-motorină-etanol

#### 3.1. Considerații generale privind estimarea proprietăților amestecurilor de BME

Majoritatea proprietăților unui amestec de substanțe lichide – cum sunt amestecurile de combustibili lichizi – sunt dependente atât de compoziția acestora, cât și de temperatura la care se află. Modelele matematice pot ține cont doar de compoziție (la temperatura de referință indicată în standardele în vigoare):

$$P = f(f_B, f_M, f_E), \quad (3.1)$$

sau doar de temperatură

$$P = f(T), \quad (3.2)$$

ori atât de compoziție, cât și de temperatură:

$$P = f(f_B, f_M, f_E, T), \quad (3.3)$$

unde  $P$  este o proprietate a amestecului,  $f_B$ ,  $f_M$  și  $f_E$  sunt fracțiile molare, volumice sau masice ale constituenților, iar  $T$  este temperatura amestecului.

Schema procesului de modelarea este prezentată în Figura 3.1. Etanolul fiind o substanță pură, pentru estimarea proprietăților acestuia în funcție de temperatură se pot utiliza funcții relativ simple. Motorina și biodieselul fiind amestecuri de substanțe pure, proprietăților acestora pot fi descrise prin funcții simple sau cu ajutorul unor legi de compunere.

Cea mai utilizată metodă pentru evaluarea proprietăților amestecurilor pe baza proprietăților constituenților este regula de compunere aditivă a lui Kay, care descrie o proprietate a amestecurilor prin suma ponderată a proprietăților constituenților luând în considerare și concentrația acestora.

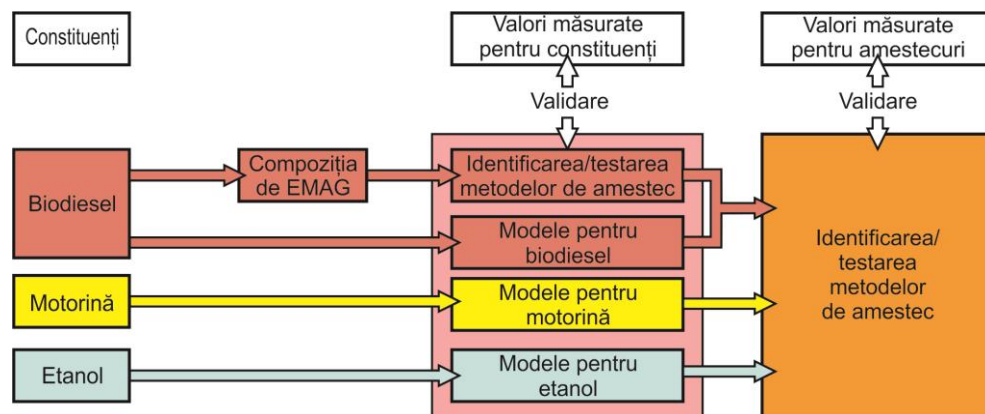


Figura 3.1. Modelarea proprietăților amestecurilor de BME.

### 3.2. Evaluarea preciziei modelelor

Precizia modelelor dezvoltate pentru descrierea proprietăților amestecurilor de BME a fost evaluată prin următoarele mărimi statistice specifice:

- eroarea procentuală medie absolută (*EPMA*):

$$EPMA = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|est_i - exptl_i|}{exptl_i}, \quad (3.4)$$

- abaterea medie pătratică (*AS*):

$$AS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (est_i - exptl_i)^2}{N - m}}, \quad (3.5)$$

- coeficientul de corelație (*R*):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (exptl_i - \overline{exptl})(est_i - \overline{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (exptl_i - \overline{exptl})^2 \sum_{i=1}^N (est_i - \overline{est})^2}}, \quad (3.6)$$

unde  $exptl_i$  și  $est_i$  sunt valorile experimentale, respectiv estimate,  $\overline{exptl}$  și  $\overline{est}$  sunt mediile valorilor experimentale, respectiv estimate,  $N$  reprezintă numărul valorilor experimentale, iar  $m$  este numărul de parametri ai modelului.

### 3.3. Modelarea densității amestecurilor de BME

#### 3.3.1. Considerații generale

Datele privind densitatea amestecurilor de BME publicate în literatura de specialitate sunt prezentate, de regulă, doar comparativ cu densitatea motorinei, la 15 °C [18-25] sau 20 °C [26-28], temperaturi impuse prin standardele de calitate, valabile în diferite zone geografice ale lumii, pentru indicarea densității combustibililor pentru automobile.

Densitatea este o proprietate foarte importantă a unui combustibil, deoarece ea influențează atât procesele de fabricare, de transport și de distribuție, cât și pe cele care au loc în motorul cu ardere internă (curgerea prin conducte, pompe și filtre, formarea și arderea amestecului combustibil-aer). Cunoașterea densității combustibililor este necesară pentru: proiectarea instalațiilor de fabricare a combustibililor – reactoare, rezervoare, unități de distilare; determinarea debitelor masice și volumice prin aceste instalații; dimensionarea pompelor de transfer, a valvelor și a supapelor de siguranță etc. [29, 30]. Densitatea, alături de presiunea de vapori, difuzivitatea vaporilor, tensiunea superficială și viscozitatea dinamică, influențează structura jetului de combustibil injectat în CA, calitatea procesului de ardere, nivelul emisiilor poluante, formarea depunerilor în CA, pornirea și funcționarea motorului la temperaturi reduse ale mediului etc. [31-34]. Sistemul de injecție al MAC introduce în camera de ardere volume discrete de combustibil, calculate de unitatea electronică de comandă – printre altele – pe baza condițiilor de funcționare ale motorului [35] și a temperaturii combustibilului [36]. Din acest motiv, cunoașterea exactă a densității combustibilului determină precizia cu care acesta este dozat, și implicit a cantității de energie consumată, deoarece densitatea influențează masa combustibilului injectat [37], iar puterea calorică a combustibilului este raportată pe unitatea de masă [35]. De asemenea, densitatea influențează și raportul masic de combustibil-aer [38], adică calitatea amestecului.

Începând cu 2002, în scopul reducerii poluării, sistemul de management al MAC poate include un sistem de control în buclă închisă a calității amestecului combustibil-aer, utilizând senzori de oxigen de bandă largă, senzori de presiune, senzori de temperatură etc. [39]. În cazul acestor motoare, cunoașterea exactă a densității combustibilului devine mai puțin importantă, deoarece doza de combustibil este calculată pe baza conținutului de oxigen al gazelor de evacuare.

Dificultățile privind estimarea proprietăților amestecurilor de BME sunt cauzate de natura foarte diferită a constituenților: motorina este formată din peste 200 de tipuri de hidrocarburi, biodieselul din peste 14 metil esteri ai acizilor grași, iar etanolul este o substanță pură. Densitatea biodieselului depinde de materia primă din care acesta este fabricat. Densitatea biodieselului este reglementată în Uniunea Europeană, standardul SR EN 14214 impunând ca valoarea acesteia să fie cuprinsă între 0,860 și 0,900 g/mL. În Uniunea Europeană, densitatea motorinei trebuie să fie cuprinsă între 0,820 și 0,845 g/mL, însă în SUA nu este reglementată. Standardul SR EN 590 permite derogări pentru anotimpul rece, permițând reducerea limitei inferioare a densității la 0,800 g/mL.

Proprietățile etanolului, utilizat ca și component de amestec pentru benzine, trebuie să respecte cerințele calitative cuprinse în standardul SR EN 15376. Prevederile acestui standard sunt aplicabile și bioetanolului. Deși acest standard nu impune o valoare anume privind densitatea etanolului, prin reglementarea purității acestuia, densitatea etanolului utilizat ca și component pentru combustibil auto este apropiată de cea a substanței pure (0,7938 g/mL).

Din considerente practice, este utilă estimarea densității amestecurilor de BME pe baza densității constituenților, utilizând modele adecvate [31].

### 3.3.2. Modele pentru descrierea densității constituenților

Pentru descrierea variației densității constituenților în funcție de temperatură au fost dezvoltate și publicate o serie de modele matematice, bazate pe diferite date de intrare, modele valabile în domenii mai largi sau mai înguste de temperatură. O prezentare succintă a celor mai importante metode și aplicabilitatea acestora la constituenții utilizați în aceasta teză este redată în Tabelul 3.1.

Cea mai simplă ecuație pentru descrierea variației densității combustibililor lichizi în funcție de temperatură are forma:

$$\rho = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + \dots, \quad (3.7)$$

unde  $\rho$  (g/mL) este densitatea,  $T$  (K) reprezintă temperatura, iar  $a_1$  (g/mL),  $a_2$  (g/(mL·T)),  $a_3$  (g/(mL·T<sup>2</sup>)) ... sunt constantele regresiei liniare (RL) sau polinomiale (RP).



Tabelul 3.1. Principalele modele pentru descrierea variației densității  
constituenților cu temperatura

| Model pentru densitate          | Constituenți | Parametri de intrare*)  | Domeniul de temperatură, K  |
|---------------------------------|--------------|---|-----------------------------|
| Regresie liniară (RL)           | EMAG puri    | date experimentale  | 278,15 – 363,15<br>[40, 41] |
|                                 |              |   | 278,15 – 363,15<br>[30]     |
|                                 | biodiesel    |   | 288,15 – 393,15<br>[42]     |
|                                 |              |   | 273,15 – 393,15<br>[43]     |
|                                 |              |   | 258,15 – 373,15<br>[43]     |
|                                 |              |   | 288,15 – 293,15<br>[42]     |
| motorină                        |              | 293,22 – 318,18<br>K [44]   |                             |
|                                 |              | 273,15 – $T_c$ [45]   |                             |
| Regresie polinomială (RP)       | etanol       | date experimentale, $T_c, \rho_c$   | 288,15 [46]                 |
| Ecuția lui Rackett              | EMAG puri    | $T_c, P_c, Z_c$ or $Z_{RA}$ sau $\omega, V_c, T_{nb}$                     | 288,15 [46]                 |
| modificată de Spencer și Danner | biodiesel    | compoziția de EMAG, $T_{cm}, P_{cm}, Z_{cm}$ sau $Z_{RAM}$ sau $\omega_m$ | 288,15 [46]                 |
|                                 |              | compoziția de EMAG, 2 valori experimentale ale densității                 | 273,15 – 373,15<br>[47]     |
| Ecuția DIPPR 105                | etanol       | date experimentale, $T_c$   | 191 – $T_c$ , DDB           |
| GCVOL                           | EMAG puri    | structura moleculară  | 278,15 – 393,15<br>[40, 41] |
|                                 | biodiesel    | compoziția de EMAG, structura moleculară                                  | 278,15 – 363,15<br>[30]     |
| Regula lui Kay                  | biodiesel    | RL pentru EMAG, compoziția de EMAG  | 278,15 – 363,15<br>[30]     |

\*) notațiile sunt explicate în text și la abrevieri

Ecuția lui Rackett, modificată de Spencer și Danner (RaSD), descrie variația densității substanțelor lichide pure în funcție de temperatură, având ca mărimi de intrare proprietățile critice – temperatura critică,  $T_c$ , presiunea critică,  $P_c$ , volumul critic,  $V_c$ , temperatura de fierbere la presiunea normală,  $T_{nb}$  și factorul de acentricitate,  $\omega$ . Utilizând reguli de amestecare potrivite, ecuația poate fi utilizată și pentru calcularea mărimilor de intrare necesare estimării densității amestecurilor de substanțe pure, cum este biodieselul. Mărimile de intrare ale acestor modele se pot estima pe baza structurii moleculare ale substanțelor

constituente utilizând metode de contribuție a grupelor (GCM – group contribution methods), care la ora actuală sunt foarte numeroase, de precizie variată, motiv pentru care uneori sunt criticate. Recent, García et al. [46] au evaluat o serie de GCM în scopul estimării densității a 29 de tipuri de biodiesel și au recomandat combinația metodelor Marrero-Pardillo (pentru calculul  $T_{nb}$ ,  $T_c$  și  $V_c$ ) și Wilson-Jasperson (pentru calculul  $P_c$ ) care furnizează rezultate cu o eroare mai mică de 1%.

Exprimând densitatea ca raportul dintre masa molară și volumul molar al lichidului, ecuația Rackett modificată de Spencer și Danner, este [48]:

$$\rho = \frac{MW_m}{\frac{RT_{cm}}{P_{cm}} Z_{RA}^{[1+(1-T/T_{cm})^{2/7}]}} , \quad (3.8)$$

unde  $MW_m$ ,  $T_{cm}$ ,  $P_{cm}$  reprezintă masa moleculară, temperatura critică și presiunea critică a amestecului de esteri metilici ai acizilor grași;  $R$  – constanta universală a gazelor, iar  $Z_{RA}$  este factorul de compresibilitate al lui Rackett, pe care García et al. [46] l-au determinat cu relația lui Soave:

$$Z_{RA} = 0,2908 - 0,099 \omega + 0,04 \omega^2 , \quad (3.9)$$

în care factorul de acentricitate  $\omega$  se poate determina cu ecuația Lee-Kesler:

$$\omega_i = \alpha_i / \beta_i , \quad (3.10)$$

unde:

$$\alpha_i = -\ln P_{c_i} - 5,97214 + 6,09648 \theta_i^{-1} + 1,28862 \ln \theta_i - 0,69347 \theta_i^6 , \quad (3.11)$$

$$\beta_i = 15,2518 - 15,6875 \theta_i^{-1} - 13,4721 \ln \theta_i + 0,43577 \theta_i^6 , \quad (3.12)$$

cu:

$$\theta_i = T_{nb_i} / T_{c_i} . \quad (3.13)$$

Pentru estimarea mărimilor  $MW_m$ ,  $T_{cm}$ ,  $P_{cm}$ ,  $V_{cm}$  și  $\theta_m$  se recomandă utilizarea regulilor de amestecare aferente ecuației Lee-Kesler, sintetizate în [49].

În cazul în care se cunoaște o valoare experimentală a densității,  $\rho^R$ , la temperatura de referință  $T^R$ , ecuația Rackett se poate scrie sub forma:

$$\rho = \frac{\rho^R}{Z_{RA}^\varphi}, \quad (3.14)$$

unde:

$$\varphi = (1 - T / T_c)^{2/7} - (1 - T^R / T_c)^{2/7}. \quad (3.15)$$

Utilizând relațiile (3.14) și (3.15), factorul de compresibilitate al lui Rackett poate fi determinat pentru biodiesel și bioetanol pe baza densităților măsurate la două temperaturi diferite ( $T^R < T^{RI}$ ).

O altă formă a ecuației lui Rackett, ce permite estimarea volumului specific al substanțelor pure, a fost propusă de către Daubert [49] și se poate adapta pentru descrierea variației densității constituenților în funcție de temperatură. Ecuația este utilizată în pachetul de software Dortmund Data Bank (DDB) sub denumirea de ecuația DIPPR105:

$$\rho = \frac{A}{B^{[1+(1-T/C)]^D}}, \quad (3.16)$$

unde  $A$ ,  $B$ ,  $C$  și  $D$  sunt constantele modelului. În general, valoarea constantei  $C$  este egală cu temperatura critică, exprimată în K.

Volumul molar poate fi estimat și prin metoda contribuției grupurilor (GCVOL). Forma originală a metodei a fost propusă de către Elbro et al. [50] pentru descrierea variației densității cu temperatura solvenților, oligomerilor și polimerilor. Metoda a fost revizuită și extinsă de către Ihmels și Gmehling [51], și a fost utilizată de către Pratas et al. [40, 41] pentru evaluarea densității constituenților biodieselului – esterilor metilici și etilici ai acizilor grași puri – cu o precizie de sub 1% pentru acizii grași saturați și sub 2% pentru cei nesaturați. Recent, aceiași autori au revizuit metoda GCVOL și pentru evaluarea densității biodieselului, obținând o precizie foarte bună, eroarea procentuală medie absolută fiind sub 0,254% [30]. Utilizând această metodă, densitatea poate fi exprimată pe baza maselor moleculare,  $MW_j$  și volumelor molare,  $V_j$  [50]:

$$\rho = \frac{\sum_j f_j MW_j}{\sum_j f_j V_j}, \quad (3.17)$$

în care  $f_i$  este fracțiunea molară a constituentului  $j$ . Volumul molar se determină cu relația:

$$V_j = \sum_i n_i \Delta v_i, \quad (3.18)$$

unde  $n_i$  reprezintă numărul de grupuri de tip  $i$ , iar  $v_i$  (mL/mol) ține cont de variația densității cu temperatura și este dată de relația:

$$\Delta v_i = A_i + B_i T + C_i T^2, \quad (3.19)$$

în care  $T$  este temperatura absolută, iar  $A_i$ ,  $B_i$  și  $C_i$  sunt constante specifice fiecărui grup de tip  $i$ .

### 3.3.3. Modele pentru estimarea densității amestecurilor

Deoarece amestecurile studiate sunt formate din trei constituenți, care la rândul lor sunt substanțe pure (etanolul), amestecuri de substanțe de natură foarte apropiată (biodieselul) sau de natură diferită (motorina), este importantă identificarea unor reguli pentru determinarea densității amestecurilor de substanțe pure sau complexe.

Particularizând regula aditivă a lui Kay (KMR), pentru densitate rezultă:

$$\rho_{est} = \sum_i f_i \rho_i, \quad (3.20)$$

unde  $\rho_{est}$  reprezintă densitatea estimată a amestecului,  $\rho_i$  este densitatea constituentului  $i$ , iar  $f_i$  este concentrația acestuia, exprimată în fracțiuni molare, masice sau volumice.

Când compoziția constituenților este exprimată în fracțiuni masice, relația pentru estimarea densității amestecurilor este:

$$\rho_{est} = \left( \sum_i \frac{f_i}{\rho_i} \right)^{-1}, \quad (3.21)$$

în care  $f_i$  reprezintă fracțiunea masică a constituentului  $i$ .

### 3.3.4. Evaluarea modelelor pentru densitate

#### 3.3.4.1 Evaluarea modelelor pentru estimarea densității constituenților

În domeniul temperaturilor studiate, RL și RP de gradul al doilea furnizează rezultate suficient de precise pentru majoritatea aplicațiilor practice. Constantele din ecuația (3.7), determinate prin metoda celor

mai mici pătrate pe baza datelor experimentale din Tabelul 2.4, corespunzătoare unui nivel de încredere de 95%, sunt prezentate în Tabelul 3.2. Variația densității în funcție de temperatură este redată în Figura 3.2. Așa cum se poate observa, densitatea etanolului scade mult mai rapid cu temperatura decât cea a motorinei sau a celor două tipuri de biodiesel.

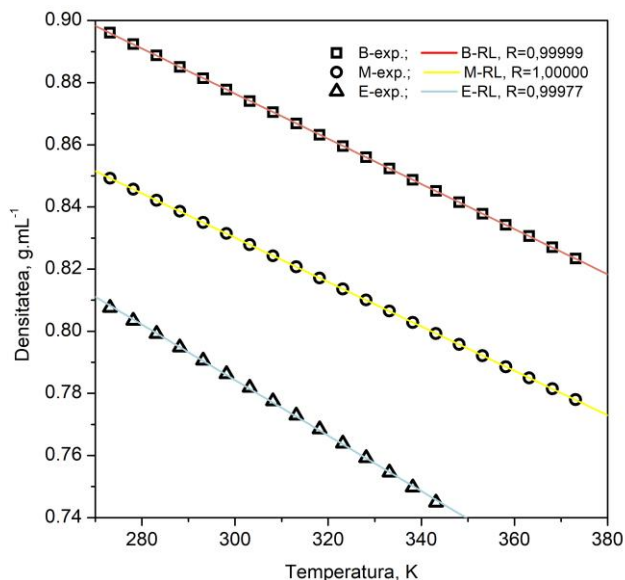


Figura 3.2. Variația densității constituenților cu temperatura (valori experimentale și RL).

Tabelul 3.2. Valorile și precizia coeficienților RL și RP

| Constituentul | $a_0$ (g mL <sup>-1</sup> ) ±AS      | $a_1$ (g mL <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) ±AS        | $a_2$ (g mL <sup>-1</sup> K <sup>-2</sup> ) ±AS        |
|---------------|--------------------------------------|--|--|
| RL            |                                      |  |  |
| Biodiesel     | 1,09443<br>±1,26806×10 <sup>-4</sup> | -7,26511×10 <sup>-4</sup><br>±3,90694×10 <sup>-7</sup> |  |
| Motorină      | 1,04429<br>±9,64270×10 <sup>-5</sup> | -7,13931×10 <sup>-4</sup><br>±2,97096×10 <sup>-7</sup> |  |
| Bioetanol     | 1,05230<br>±1,65258×10 <sup>-3</sup> | -8,93393×10 <sup>-4</sup><br>±5,34977×10 <sup>-6</sup> |  |
| RP            |                                      |  |  |
| Biodiesel     | 1,09957<br>±9,51118×10 <sup>-4</sup> | -7,58651×10 <sup>-4</sup><br>±5,92268×10 <sup>-6</sup> | 4,97291×10 <sup>-8</sup><br>±9,15600×10 <sup>-9</sup>  |
| Motorină      | 1,04437<br>±1,17473×10 <sup>-3</sup> | -7,14456×10 <sup>-4</sup><br>±7,31514×10 <sup>-6</sup> | 8,12307×10 <sup>-10</sup><br>±1,13086×10 <sup>-8</sup> |
| Bioetanol     | 0,95789<br>±2,96040×10 <sup>-3</sup> | -2,77591×10 <sup>-4</sup><br>±1,92803×10 <sup>-5</sup> | -9,99192×10 <sup>-7</sup><br>±3,12688×10 <sup>-8</sup> |

Valorile constantelor  $A$ ,  $B$  și  $D$ , din ecuația DIPPR105 (3.16), au fost obținute utilizând metoda Levenberg–Marquardt și sunt prezentate în Tabelul 3.3. Valoarea constantei  $C$  este, de regulă, temperatura critică a constituentului, care în cazul biodieselului, este calculată pe baza temperaturilor critice ale constituenților acestuia, iar pentru motorină și bioetanol au fost utilizate valorile din literatura de specialitate.

Tabelul 3.3. Valorile coeficienților ecuației DIPPR105

| Constituenți | $A \pm AS$               | $B \pm AS$               | $C$            | $D \pm AS$               |
|--------------|--------------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Biodiesel    | 0,18826<br>$\pm 0,00417$ | 0,41329<br>$\pm 0,00445$ | 813,76         | 0,65279<br>$\pm 0,01179$ |
| Motorină     | 0,27493<br>$\pm 0,00334$ | 0,51187<br>$\pm 0,00287$ | 658,40<br>[52] | 0,70811<br>$\pm 0,01129$ |
| Bioetanol    | 0,13766<br>$\pm 0,00612$ | 0,37129<br>$\pm 0,00809$ | 513,92<br>[49] | 0,31742<br>$\pm 0,00979$ |

Deoarece motorina este compusă din foarte multe substanțe și compoziția ei variază în funcție de anotimp, zonă geografică și materia primă utilizată la fabricarea acesteia, estimarea mărimilor din modelul RaSD ar fi foarte dificilă. Din acest motiv, modelul RaSD poate fi utilizat doar pentru descrierea densității biodieselului și bioetanolului. Proprietățile critice și temperatura de fierbere la presiunea atmosferică normală au fost preluate din [46], pachetul 2. Valorile calculate ale mărimilor din modelele RaSD și RaSD2Exptl sunt cuprinse în Tabelul 3.4. Pentru determinarea factorului de compresibilitate Rackett din ecuația RaSD2Exptl au fost utilizate valori ale densităților obținute experimental, măsurate la temperaturile de 288,15 K și 343,15 K.

Tabelul 3.4. Valorile coeficienților ecuațiilor RaSD și RaSD2Exptl

| Constituenți | $\omega$   | $T_{cm}/K$   | $P_{cm}/kPa$ | $V_{cm}/mL \cdot mol^{-1}$ | $Z_{Ra}$ |            |
|--------------|------------|--------------|--------------|----------------------------|----------|------------|
|              |            |              |              |                            | RaSD     | RaSD2Exptl |
| Biodiesel    | 0,86419    | 813,76390    | 1330,948     | 1103,30375                 | 0,21473  | 0,18561    |
| Bioetanol    | 0,649 [51] | 513,920 [51] | 6148,0 [51]  | 167,0 [51]                 | 0,24340  | 0,34275    |

Pentru estimarea densității biodieselului prin metoda contribuției grupurilor GCVOL au fost utilizați coeficienții revizuiți de Pratas et al. [30]:  $A = 12,52$ ,  $B = 12,94 \cdot 10^{-3}$  pentru grupa funcțională  $CH_2$ ,  $A = 18,96$ ,  $B = 45,58 \cdot 10^{-3}$  pentru grupul  $CH_3$ ,  $A = 11,43$ ,  $B = 6,756 \cdot 10^{-3}$  pentru grupul  $CH=$  și  $A = 14,23$ ,  $B = 11,93 \cdot 10^{-3}$  pentru grupul  $COO$ , iar

$C = 0$  pentru toate grupurile. În scopul îmbunătățirii preciziei, în cazul etanolului, coeficienții grupului  $\text{CH}_2\text{OH}$  au fost determinați cu Microsoft Excel Solver rezultând valorile:  $A = 22,85$ ,  $B = 0$  și  $C = 3,63 \cdot 10^{-5}$ .

Indicatorii statistici pentru evaluarea preciziei modelelor pentru descrierea densității constituenților sunt redați în Tabelul 3.5. În cazul în care sunt disponibile date experimentale privind densitatea constituenților, DIPPR105 furnizează cea mai mare precizie, urmată de RP, RL și RaSD2Exptl. Când nu sunt disponibile date experimentale, modelul RaSD furnizează cea mai precisă estimare a densității constituenților, urmat de modelul GCVOL și RL+KMR. Valorile abaterilor medii pătratice ale estimărilor sunt în corelație cu precizia de măsurare a densităților, valorile mai ridicate au fost obținute în cazul modelului RaSD, iar cele mai scăzute în cazul modelelor RP și DIPPR105.

Tabelul 3.5. Valorile indicatorilor statistici pentru acuratețea modelelor utilizate pentru estimarea densității constituenților

| Tipul modelului | EPMA, % | AS, g·mL <sup>-1</sup>   | R       |
|-----------------|---------|--------------------------|---------|
| RL              |         |                          |         |
| Biodiesel       | 0,00497 | $5,42066 \times 10^{-5}$ | 0,99999 |
| Motorină        | 0,00410 | $4,12204 \times 10^{-5}$ | 1       |
| Bioetanol       | 0,04591 | $4,47594 \times 10^{-4}$ | 0,99977 |
| RP              |         |                          |         |
| Biodiesel       | 0,00295 | $3,42836 \times 10^{-5}$ | 1       |
| Motorină        | 0,00410 | $4,23439 \times 10^{-5}$ | 1       |
| Bioetanol       | 0,00513 | $5,0209 \times 10^{-5}$  | 0,99999 |
| DIPPR105        |         |                          |         |
| Biodiesel       | 0,00280 | $3,29472 \times 10^{-5}$ | 1       |
| Motorină        | 0,00444 | $4,53847 \times 10^{-5}$ | 1       |
| Bioetanol       | 0,00372 | $3,48071 \times 10^{-5}$ | 1       |
| RaSD            |         |                          |         |
| Biodiesel       | 0,46974 | $2,98781 \times 10^{-3}$ | 0,99993 |
| Bioetanol       | 0,00542 | $4,44008 \times 10^{-5}$ | 1       |
| RaSD2Exptl      |         |                          |         |
| Biodiesel       | 0,02361 | $2,56537 \times 10^{-4}$ | 0,99995 |
| Bioetanol       | 0,00542 | $4,44008 \times 10^{-5}$ | 1       |
| GCVOL           |         |                          |         |
| Biodiesel       | 0,04935 | $5,23280 \times 10^{-4}$ | 0,99978 |
| Bioetanol       | 0,06890 | $6,67706 \times 10^{-4}$ | 0,99945 |
| RL+KMR          |         |                          |         |
| Biodiesel       | 0,28698 | $6,13852 \times 10^{-5}$ | 1       |

### 3.3.4.2 Evaluarea modelelor pentru estimarea densității amestecurilor de BME

Utilizând valorile măsurate ale densității constituenților, prezentate în capitolul anterior, preciziile modelelor descrise prin ecuațiile (3.20) și (3.21) sunt prezentate în Tabelul 3.8. Se poate aprecia că cele două modele estimează densitatea amestecurilor cu precizii foarte apropiate, ecuația (3.21) furnizând o precizie ușor mai bună. Valorile calculate ale *EPMA* utilizând *KMR* și exprimând compoziția amestecurilor în fracții volumice (*KMRVol*) sunt prezentate în Figura 3.3-a. Ele sunt cuprinse între -0,66 și 0,27% și variază atât în funcție de temperatură, cât mai ales în funcție de compoziție; de regulă, amestecurile cu un conținut ridicat de bioetanol prezintă *EPMA* mai mari.

În cazul modelului *KMRVol*, variația erorilor în funcție de temperatură se poate explica prin variația compoziției volumetrică ale amestecurilor cu variația temperaturii, deoarece constituenții se dilată în mod diferit (Figura 3.2). Corectând compoziția amestecurilor în funcție de temperatură (*VCKMRVol*), precizia se îmbunătățește ușor (Tabelul 3.8), *EPMA* fiind cuprinsă între -0,62 și 0,20% (Figura 3.3-b), păstrându-se însă tendințele amintite anterior. Acest lucru se explică prin faptul că amestecurile respective nu sunt ideale, adică ele generează volum în exces, care nu poate fi neglijat.

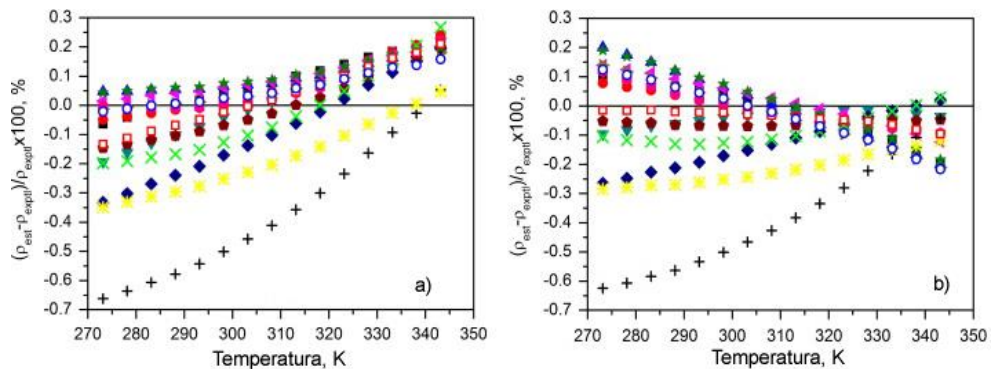


Figura 3.3. Distribuția EPMA în funcție de temperatură pentru modelele *KMRVol* (a) și *KMRTCVol* (b):

- - B25D70E5; ● - B20D70E10; ▲ - B20D75E5; ▼ - B15D70E15; ◆ - B15D75E10;
- - B15D80E5; ◆ - B10D70E20; ◆ - B10D75E15; ◆ - B10D80E10; ★ - B10D85E5;
- + - B5D70E25; \* - B5D75E20; × - B5D80E15; □ - B5D85E10; ○ - B5D90E5.

Linia zero reprezintă datele experimentale.



### 3.3.5. Modele propuse pentru descrierea densității amestecurilor ternare

În literatura de specialitate sunt prezentate o serie de modele pentru estimarea densității amestecurilor ternare, majoritatea lor estimând volumul în exces pe baza volumelor în exces ale amestecurilor binare. În cazul amestecurilor ternare de BME această cale nu este abordabilă, deoarece motorina și etanolul prezintă o miscibilitate foarte limitată, motiv pentru care densitatea acestor amestecuri binare nu se poate măsura cu precizia necesară. Mai mult decât atât, aceste metode conduc la modele complicate, improprii unor calcule rapide și aplicabile în analiza computerizată a dinamicii fluidelor (CFD). Din aceste motive, am propus exprimarea densității amestecurilor ternare cercetate cu relația:

$$\rho_{est} = f_B \rho_B + f_M \rho_M + f_E \rho_E - \Delta\rho, \quad (3.22)$$

unde  $f_B$ ,  $f_M$  și  $f_E$  sunt fracții volumice, iar  $\Delta\rho$  reprezintă eroarea absolută, ce poate fi interpretată ca volumul în exces al amestecurilor, putând fi exprimată printr-o relație de forma:

$$\Delta\rho = c_0 + c_E f_E + c_B f_B + c_T T, \quad (3.23)$$

ce ține cont de o eroare sistematică,  $c_0$ , de influența compoziției prin coeficienții  $c_E$  și  $c_B$  și de influența temperaturii, prin  $c_T$ . Constantele din această ecuație se pot determina pe baza valorilor experimentale ale densităților, utilizând de exemplu, regresia liniară multiplă (RLM).

Deoarece regresia liniară multiplă nu a condus la o îmbunătățire notabilă a preciziei, s-a optat pentru o combinație de LR și RLM. Ținând cont de variația erorilor absolute în funcție de compoziția amestecurilor și de temperatura acestora (Figura 3.4-a), s-a propus următoarea abordare:

- a) aproximarea erorilor în funcție de temperatură prin LR, rezultând panta medie a dreptei de regresie;
- b) estimarea erorii absolute pentru o temperatură dată pe baza compoziției amestecurilor;
- c) descrierea erorii absolute printr-o dreaptă care are panta determinată la punctul a) și trece prin punctul care definește eroarea absolută la temperatura considerată la punctul b) (Figura 3.4-b).

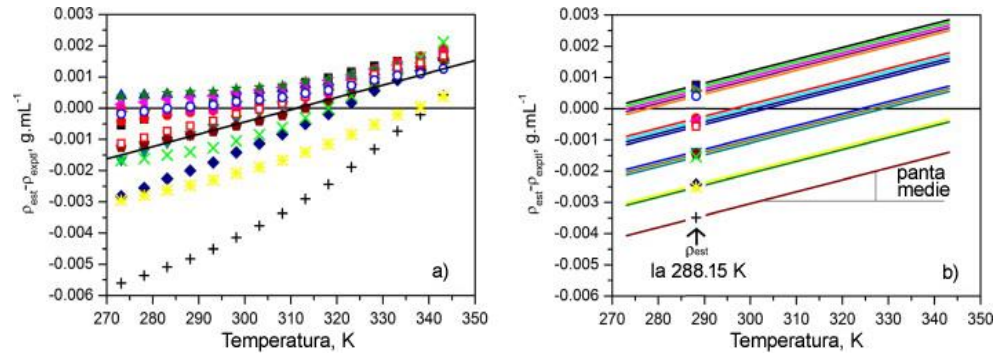


Figura 3.4. Estimarea erorii absolute:

- a – eroarea absolută și panta medie obținută prin regresie liniară;
- b – estimarea erorii absolute la 288,15 K și aproximarea liniară a acesteia.

Eroarea absolută la temperatura  $T$  poate fi determinată printr-o relație de forma:

$$\Delta\rho(T) = b_0 + b_1 f_B + b_2 f_E. \quad (3.24)$$

Din considerente practice coeficienții  $b_0$ ,  $b_1$  și  $b_2$  din ecuația (3.24) au fost determinați prin RLM pentru temperatura de 288,15 K – temperatură la care se specifică densitatea combustibililor conform EN 590 și EN 14214. Aproximând variația erorii cu una liniară, ea poate fi descrisă printr-o relație de forma dată de relația (3.7), în care  $a_1$  reprezintă panta medie a erorii absolute. În acest caz valoarea coeficientului  $a_0$  se poate determina din relația (3.7) scrisă pentru temperatura de 288,15 K, rezultând următoarea relație pentru eroarea absolută:

$$\Delta\rho = b_0 + b_1 f_B + b_2 f_E + a_1 (T - 288,15). \quad (3.25)$$

Valorile coeficienților din relația (3.25) sunt redată în Tabelul 3.6.

Tabelul 3.6. Valorile și precizia constantelor din relația (3.25)

| Coeficienți  | Valoare  |
|--------------|--|
| $a_1 \pm AS$ | $3,81247 \times 10^{-5} \pm 1,423495 \times 10^{-6}$ |
| $R$          | 0,99826  |
| $b_0 \pm AS$ | $1,27800 \times 10^{-3} \pm 6,00725 \times 10^{-4}$  |
| $b_1 \pm AS$ | $1,77429 \times 10^{-3} \pm 2,87202 \times 10^{-3}$  |
| $b_2 \pm AS$ | $-1,94300 \times 10^{-2} \pm 2,87202 \times 10^{-3}$ |
| $R$          | 0,92104  |

Această abordare a îmbunătățit semnificativ precizia de estimare a densității (Tabelul 3.8 și Figura 3.5-a), valorile EPMA fiind cuprinse între -0,18 și 0,24%. Deși această precizie este suficientă pentru majoritatea aplicațiilor, ea poate fi îmbunătățită prin creșterea preciziei cu care se ține cont de influența compoziției amestecurilor. În acest scop, pentru estimarea erorii absolute, a fost propusă următoarea relație:

$$\Delta\rho = A_0 + A_1T + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 B_{ijk} (f_i - f_j)^k, \quad (3.26)$$

unde  $k$  este 1, 2, 3, ... . Pe baza unor evaluări preliminare în scopul reducerii numărului de coeficienți din relația (3.26) a fost adoptat  $k = 2$  și au fost eliminați termenii redundanți, rezultând următoarea formă simplificată a relației (3.26):

$$\begin{aligned} \Delta\rho = A_0 + A_1T + B_{BE1} (f_B - f_E) + B_{DE1} (f_D - f_E) + \\ + B_{BE2} (f_B - f_E)^2 + B_{DE2} (f_D - f_E)^2. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Valorile constantelor din relația (3.27), determinate minimizând valoarea EPMA, sunt redate în Tabelul 3.7. Așa cum este arătată în Tabelul 3.8, precizia de estimare a densității s-a îmbunătățit semnificativ, valorile EPMA fiind cuprinse între -0,24 și 0,21% (Figura 3.5-b), având o distribuție simetrică atât față de valorile experimentale (linia 0), cât și în intervalul temperaturilor considerate.

Tabelul 3.7. Valorile numerice ale constantelor din relația (3.27)

| Constante | B-D-E                     |
|-----------|---------------------------|
| $A_0$     | $1,04453 \times 10^{-2}$  |
| $A_1$     | $-3,32770 \times 10^{-5}$ |
| $B_{BE1}$ | $-6,91275 \times 10^{-3}$ |
| $B_{DE1}$ | $-1,58535 \times 10^{-4}$ |
| $B_{BE2}$ | $2,72518 \times 10^{-2}$  |
| $B_{DE2}$ | $-9,22526 \times 10^{-4}$ |

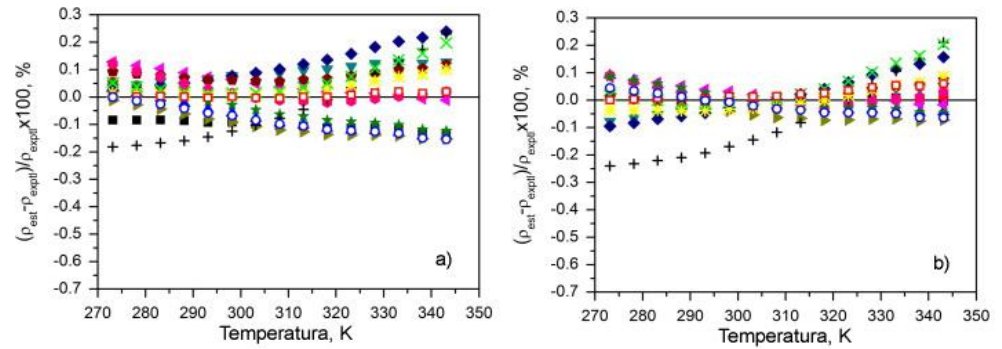


Figura 3.5. Distribuția EPMA pentru modelele dezvoltate:

a – relația (3.25); b – relația (3.26);

- - B25D70E5; ● - B20D70E10; ▲ - B20D75E5; ▼ - B15D70E15; ◆ - B15D75E10;
- ▶ - B15D80E5; ◆ - B10D70E20; ◆ - B10D75E15; ● - B10D80E10; ★ - B10D85E5;
- ⊕ - B5D70E25; \* - B5D75E20; ✕ - B5D80E15; □ - B5D85E10; ○ - B5D90E5.

Linia zero reprezintă datele experimentale.

Tabelul 3.8. Evaluarea preciziei modelelor pentru estimarea densității amestecurilor

| Modelul          | EPMA    | AS                       | R       |
|------------------|---------|--------------------------|---------|
| MRMass           | 0,11888 | $1,36146 \times 10^{-3}$ | 0,99732 |
| KMRVol           | 0,12145 | $1,38261 \times 10^{-3}$ | 0,99729 |
| KMRTCVol         | 0,10653 | $1,14739 \times 10^{-3}$ | 0,99804 |
| KMR + Ec. (3.25) | 0,06961 | $7,18956 \times 10^{-4}$ | 0,99915 |
| KMR + Ec. (3,26) | 0,04122 | $5,05032 \times 10^{-4}$ | 0,99959 |
| RLM              | 0,07047 | $7,96500 \times 10^{-4}$ | 0,99894 |

### **3.4. Modelarea viscozității amestecurilor de BME**

#### **3.4.1. Considerații generale privind viscozitatea**

Viscozitatea este una dintre cele mai importante proprietăți a combustibililor. Viscozitatea influențează calitatea pulverizării, dimensiunile picăturilor formate în perioada injecției, penetrarea jetului în camera de ardere, calitatea procesului de ardere etc. [53].

Viscozitatea combustibililor pentru motoarele cu aprindere prin comprimare este limitată atât inferior, cât și superior. Ea trebuie să fie suficient de redusă pentru a asigura curgerea ușoară a acestuia prin sistemul de alimentare al motorului (prin conducte, valve, regulate, dar mai ales prin filtre), însă o viscozitate prea redusă poate cauza scăpări de combustibil pe lângă garnituri de etanșare, dar și la nivelul injectoarelor, unde viscozitatea combustibilului trebuie să fie suficient de mare, încât să asigure etanșeitatea acestora (să nu existe scăpări pe lângă acul injectorului). O viscozitate prea ridicată cauzează o pulverizare proastă, o ardere incompletă a combustibilului, facilitează formarea depunerilor în camera de ardere, conduce la creșterea energiei necesare pomperii acestuia, înrăutățește comportarea la rece a combustibilului etc. De asemenea, viscozitatea combustibilului poate fi legată și de puterea de lubrifiere a acestuia, proprietate extrem de importantă în cazul combustibililor destinați motoarelor cu aprindere prin comprimare, deoarece ungerea pompelor de înaltă presiune și a injectoarelor poate fi realizată doar prin intermediul combustibilului.

La ora actuală, există numeroase modele pentru evaluarea viscozității biodieselului sau a amestecurilor de biodiesel-motorină [54-58]. Despre viscozitatea amestecurilor de motorină-etanol au fost publicate o serie de date, mai ales despre variația viscozității acestora în funcție de conținutul lor de etanol [59, 60].

Modelarea viscozității amestecurilor de ulei vegetal-motorină-alcool a fost tratată în [61], însă modelarea viscozității amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol este prea puțin cercetată.

### 3.4.2. Modelarea viscozității constituenților în funcție de temperatură

Pentru descrierea variației viscozității lichidelor cu temperatura au fost elaborate o serie de modele, având precizie și complexitate foarte diferită [62]. Pentru descrierea dependenței de temperatură a viscozității combustibililor a fost utilizată cu succes ecuația Vogel–Fulcher–Tammann (VFT) [55, 58, 62]:

$$\ln \nu = A + \frac{B}{C+T}, \quad (3.28)$$

în care  $\nu$  (mm<sup>2</sup>/s) reprezintă viscozitatea cinematică a lichidului la temperatura  $T$  (K), iar  $A$ ,  $B$  și  $C$  sunt parametrii de corelație, care se pot determina măsurând viscozitatea la cel puțin trei temperaturi diferite.

### 3.4.3. Modelarea viscozității amestecurilor în funcție de temperatură

#### 3.4.3.1 Estimarea viscozității amestecurilor cu regula lui Kay

Viscozitatea amestecurilor de substanțe lichide poate fi estimată pe baza viscozității constituenților, utilizând diferite metode aditive ponderate sau neponderate. De exemplu, regula de compunere aditivă a lui Kay (KMR) [49, 63] poate fi adaptată pentru estimarea viscozității cinematice a amestecului pe baza viscozității cinematice a constituenților și a compoziției amestecurilor [64], utilizând relația:

$$\nu_{\text{amestec}} = \sum_{i=1}^n f_i \nu_i, \quad (3.29)$$

unde  $\nu_i$  (mm<sup>2</sup>/s) reprezintă valoarea viscozității cinematice a componenteii  $i$ ;  $f$  este fracțiunea masică, volumică sau molară a constituențului  $i$  din amestec, iar  $n$  reprezintă numărul de constituenți.

#### 3.4.3.2 Modelul semilogaritmic pentru determinarea viscozității cinematice a amestecurilor

Modelul semilogaritmic sau modelul lui Kay modificat este utilizat la scară largă [43, 49, 55, 63, 64] pentru evaluarea viscozității cinematice a amestecurilor pe baza viscozității cinematice a constituenților puri. Forma generală a relației este:

$$\ln v_{amestec} = \sum_{i=1}^N f_i \cdot \ln v_i \quad \text{sau} \quad v_{amestec} = \prod_{i=1}^N v_i^{f_i} . \quad (3.30)$$

Notațiile din relația (3.30) sunt identice cu cele utilizate în relația (3.29). Determinarea viscozității cu relația (3.30), utilizând fracțiuni masice, furnizează valori mai reduse decât cele experimentale în cazul amestecurilor de biodiesel-motorină, datorită diferențelor semnificative dintre proprietățile fizice și chimice ale constituenților [55], biodieselul având viscozitatea mai ridicată, coroborat cu o densitate și masă moleculară semnificativ mai mari decât a motorinei.

#### 3.4.3.3 Modelul semilogaritmic ponderat

Precizia modelului semilogaritmic poate fi îmbunătățită prin introducerea unor coeficienți de pondere [55] în relația (3.30):

$$\ln v_{amestec} = \sum_{i=1}^N k_i f_i \ln v_i , \quad (3.31)$$

în care  $k_i$  reprezintă coeficientul de pondere al constituentului  $i$ . Acest model a fost utilizat cu succes pentru evaluarea viscozității amestecurilor de biodiesel-motorină în [47].

#### 3.4.3.4 Modelul Grunberg-Nissan

Modelul Grunberg-Nissan este unul dintre cele mai utilizate modele pentru descrierea viscozității dinamice a amestecurilor lichide la temperaturi reduse. Acest model a fost evaluat în [49, 63]. În urma cercetărilor, modelul a fost selectat ca cel mai potrivit pentru evaluarea viscozității dinamice a amestecurilor de lichide pure. Ecuația Grunberg-Nissan pentru evaluarea viscozității amestecurilor lichide are forma generală [49, 61, 63]:

$$\ln v_{amestec} = \sum_{i=1}^n x_i \ln v_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n x_i x_j G_{ij} , \quad (3.32)$$

unde  $x_i$  și  $x_j$  sunt fracțiunile molare ale constituenților  $i$  și  $j$ ;  $G_{ij}$  reprezintă un parametru de interacționare dintre constituenții  $i$  și  $j$ ; celelalte notații au fost definite anterior.

Ecuația (3.32) a fost evaluată pentru determinarea viscozității cinematice a biodieselului, pe baza viscozității esterilor metilici ai acizilor grași din compoziția acestuia [54, 65], pentru amestecuri de biodiesel-motorină [55], cu neglijarea parametrilor de interacționare  $G_{ij}$ . Pen-

tru amestecurile de ulei vegetal-motorină-alcool în [61], au fost determinate și valorile parametrilor de interacționare în funcție de natura constituenților și temperatura amestecului.

### 3.4.3.5 Modelarea viscozității prin ecuația lui Refutas

Modelarea viscozității prin ecuația lui Refutas [66] se bazează pe indicele de amestec a viscozității și are forma:

$$\nu_{amestec} = \exp \left[ \exp \left( \frac{VBI_{amestec} - 10,975}{14,535} \right) \right] - 0,8, \quad (3.34)$$

unde:

$$VBI_{amestec} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot VBI_i, \quad (3.35)$$

în care:

$$VBI_i = 14,354 \ln \left[ \ln (\nu_i + 0,8) \right] + 10,975. \quad (3.36)$$

În relațiile (3.33 – 3.35),  $VBI$  reprezintă indicele de amestec a viscozității (Viscosity Blending Index) amestecului și a constituenților;  $\nu$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) viscozitatea cinematică, iar  $f$  este fracțiunea masică a constituențului  $i$ .

## 3.4.4. Evaluarea modelelor de viscozitate

### 3.4.4.1 Evaluarea variației viscozității cinematice a constituenților

Valorile constantelor din ecuația (3.28), determinate pe baza datelor prezentate în Figura 3.6, Tabelul 2.5, precum și precizia evaluării, sunt redată în Tabelul 3.9. În cazul constituenților cu viscozitate cinematică mai mare, influența temperaturii este mai semnificativă.

Sensibilitatea cea mai mare la temperatură o are biodieselul, urmat de motorină și etanol. Aceste diferențe se pot explica cu ajutorul relației de dependență a viscozității de temperatură a lui Arrhenius:

$$\nu(T) = A \cdot e^{\frac{\Delta G}{RT}}, \quad (3.36)$$

unde  $A$  este un factor preexponențial,  $T$  – temperatura,  $R$  – constanta universală a gazelor,  $\Delta G$  – energia de activare a curgerii vâscoase, care este direct proporțională cu numărul atomilor de carbon din moleculele lichidului. Media atomilor de carbon din moleculele biodieselului este 18, din moleculele motorinei este 14, iar etanolul are doar doi atomi de carbon.



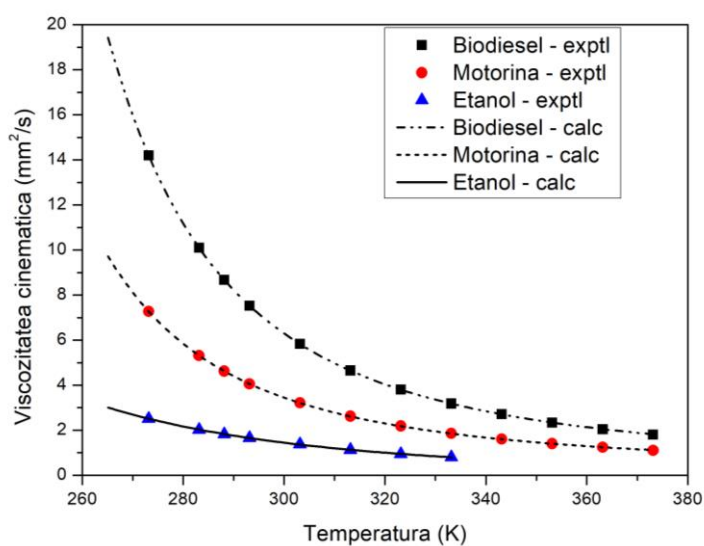


Figura 3.6. Variația viscozității biodieselului, motorinei și etanolului în funcție de temperatură.

Tabelul 3.9. Constantele din ecuația VFT și precizia acestora

| Combustibili                                      | Parametrii corelației |            |            |         |
|---|-----------------------|------------|------------|---------|
|   | A                     | B          | C          | R       |
| <i>constituenți</i>                               |                       |            |            |         |
| B100  | -2,01482              | 593,70109  | -145,96636 | 1       |
| M100  | -2,20548              | 518,95777  | -149,29317 | 0,99999 |
| E100  | -7,70048              | 3393,69749 | 120,43932  | 0,99993 |
| <i>amestecuri de biodiesel-motorină-bioetanol</i> |                       |            |            |         |
| B25M70E5  | -2,52098              | 624,79993  | -136,2138  | 0,99998 |
| B20M70E10   | -2,87225              | 715,07873  | -123,6359  | 0,99995 |
| B20M75E5  | -2,36638              | 571,35442  | -141,98661 | 1       |
| B15M70E15   | -2,81007              | 675,43898  | -126,57686 | 0,99993 |
| B15M75E10   | -2,70217              | 652,18976  | -130,12371 | 0,99995 |
| B15M80E5  | -2,53547              | 611,04288  | -136,50048 | 0,99999 |
| B10M70E20   | -1,32918              | 229,77642  | -200,49689 | 0,99837 |
| B10M75E15   | -1,99048              | 394,44181  | -169,63682 | 0,9988  |
| B10M80E10   | -3,53145              | 942,53074  | -97,49605  | 0,99947 |
| B10M85E5  | -2,53817              | 602,93439  | -136,79631 | 0,99998 |
| B5M70E25  | -1,55679              | 240,94811  | -203,48662 | 0,99909 |
| B5M75E20  | -1,26155              | 207,33222  | -206,14866 | 0,99914 |
| B5M80E15  | -1,85349              | 342,72309  | -179,27976 | 0,99873 |
| B5M85E10  | -2,45288              | 533,16671  | -147,46829 | 0,9995  |
| B5M90E5   | -2,16854              | 470,28381  | -159,57192 | 0,99972 |

Pentru amestecurile studiate, modelele obținute furnizează o precizie suficientă, coeficientul de corelație fiind peste 0,998.

#### 3.4.4.2 Evaluarea modelelor pentru estimarea viscozității amestecurilor

Deoarece valoarea parametrului de interacționare dintre constituenți,  $G_{ij}$  din relația (3.33) depinde atât de temperatură [61] cât și de compoziția amestecului (fapt demonstrat de cercetările experimentale și teoretice efectuate pe baza evaluării viscozității cinematice ale amestecurilor binare de biodiesel-motorină, biodiesel-bioetanol și bioetanol-motorină). Se consideră că utilizarea ecuației Grunberg-Nissan este dificilă și complicată pentru evaluarea viscozității cinematice a amestecurilor ternare de biodiesel-motorină-bioetanol.

Regula lui Kay are următoarea formă particulară pentru amestecurile de biodiesel-motorină-etanol:

$$V_{amestec} = f_B v_B + f_D v_D + f_E v_E, \quad (3.37)$$

unde  $V_{amestec}$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) este viscozitatea cinematică a amestecului;  $v_B$ ,  $v_D$ ,  $v_E$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) viscozitatea cinematică a biodieselului, motorinei și etanolului, determinate cu ajutorul relației (3.28) pe baza coeficienților din Tabelul 3.9;  $f_B$ ,  $f_D$ ,  $f_E$  fracțiunea masică, volumică sau molară a biodieselului, motorinei și etanolului. S-a constatat că estimarea viscozității cinematice prin aceasta metodă conduce la erori foarte mari.

Modelul semilogaritmic pentru determinarea viscozității cinematice descris de relația (3.30) poate fi particularizat pentru amestecurile de biodiesel-motorină-etanol sub forma:

$$\ln v_{amestec} = f_B \cdot \ln v_B + f_D \cdot \ln v_D + f_E \cdot \ln v_E. \quad (3.38)$$

Notațiile din această relație sunt identice cu cele din relația (3.37). Această relație conduce la supraevaluarea viscozității cinematice, atât în cazul utilizării compoziției masice, cât și a celei volumice. Abaterea maximă în cazul utilizării compoziției volumice este în medie  $0,34 \text{ mm}^2/\text{s}$ , reprezentând  $10,21\%$ . S-a constatat, de asemenea, creșterea erorii relative cu temperatura și cu conținutul de bioetanol. În cazul în care compoziția amestecurilor se exprimă în fracțiuni molare, atât erorile absolute cât și cele relative au fost mai mari decât în cazul utilizării fracțiunilor volumice sau masice.

Modelul semilogaritmic ponderat, dat de relația (3.31), pentru amestecurile studiate, devine:

$$\ln v_{amestec} = k_B \cdot f_B \cdot \ln v_B + k_D \cdot f_D \cdot \ln v_D + k_E \cdot f_E \cdot \ln v_E, \quad (3.39)$$

unde  $k_B$ ,  $k_D$  și  $k_E$  sunt factorii de pondere ai biodieselului, motorinei și etanolului, iar celelalte notații au fost definite anterior.

Factorii de pondere din ecuația (3.39) au fost determinați prin metoda celor mai mici pătrate. Valorile ponderilor au fost determinate atât pentru exprimarea volumetrică a compoziției amestecurilor, cât și în cazul exprimării acestora în fracțiuni masice și molare. Cele mai bune rezultate au fost obținute utilizând fracțiunile masice, motivele fiind explicate în [55].

### 3.4.5. Modele propuse pentru estimarea densității amestecurilor BME

#### 3.4.5.1 Modelul aditiv ponderat

Având în vedere variația viscozităților constituenților cu temperatura, se propune următorul model aditiv ponderat (Kay ponderat):

$$v_{amestec} = k_B f_B v_B + k_D f_D v_D + k_E f_E v_E. \quad (3.40)$$

Factorii de pondere din ecuația (3.40) au fost determinați ca în cazul relației (3.39), rezultatele cele mai bune obținându-se în cazul exprimării compoziției amestecurilor prin fracțiuni molare. Valorile factorilor de pondere din relațiile (3.39) și (3.40), precum și precizia estimărilor furnizate sunt redate în Tabelul 3.10.

Tabelul 3.10. Valorile factorilor de pondere din relațiile (3.39) și (3.40) și precizia estimărilor

| Modelul                                      | Exprimarea compoziției | $k_B$  | $k_D$  | $k_E$  | EPMA, % |
|--|------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Modelul semilogaritmic ponderat, rel. (3.39) | volumic                | 1,0617 | 0,9070 | 0,9160 | 4,8961  |
|  | masic                  | 1,0489 | 0,8918 | 1,0967 | 4,2827  |
|  | molar                  | 1,1945 | 0,9729 | 1,6555 | 5,5718  |
| Modelul Kay ponderat, rel. (3.40)            | volumic                | 0,8961 | 0,8788 | 0,1051 | 2,6628  |
|  | masic                  | 0,8610 | 0,8799 | 0,0782 | 2,0341  |
|  | molar                  | 1,1926 | 0,8945 | 1,4140 | 1,5879  |

Estimarea viscozității cinematice a amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol cu ecuația Refutas (3.33) conduce la erori mari, mai ales la fracții ridicate de biocombustibil, EPMA fiind de peste 6,67%. Din acest motiv se consideră că acest model nu este potrivit pentru evaluarea viscozității amestecurilor cercetate.

### 3.4.5.2 Modelarea viscozității și densității prin rețele neuronale artificiale

În cazul în care există suficiente date experimentale, proprietățile amestecurilor se pot determina și utilizând rețele neuronale artificiale [67, 68].

Modelul propune evaluarea viscozității și densității amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol printr-o rețea neuronală artificială cu intrări multiple și ieșire singulară. Intrările rețelei sunt temperatura  $T$  (K) și compoziția amestecului, exprimată prin fracțiunile volumice de biodiesel  $v_B$ , motorină  $v_D$  și etanol  $v_E$ , iar ieșirea este viscozitatea cinematică  $\nu$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ). Au fost evaluate două arhitecturi interne ANN: cu un singur neuron și cu doi neuroni (Figura 3.7). Funcția de activare a stratului ascuns a fost de tip tan-sigmoidal, iar cea a stratului de ieșire de formă liniară.

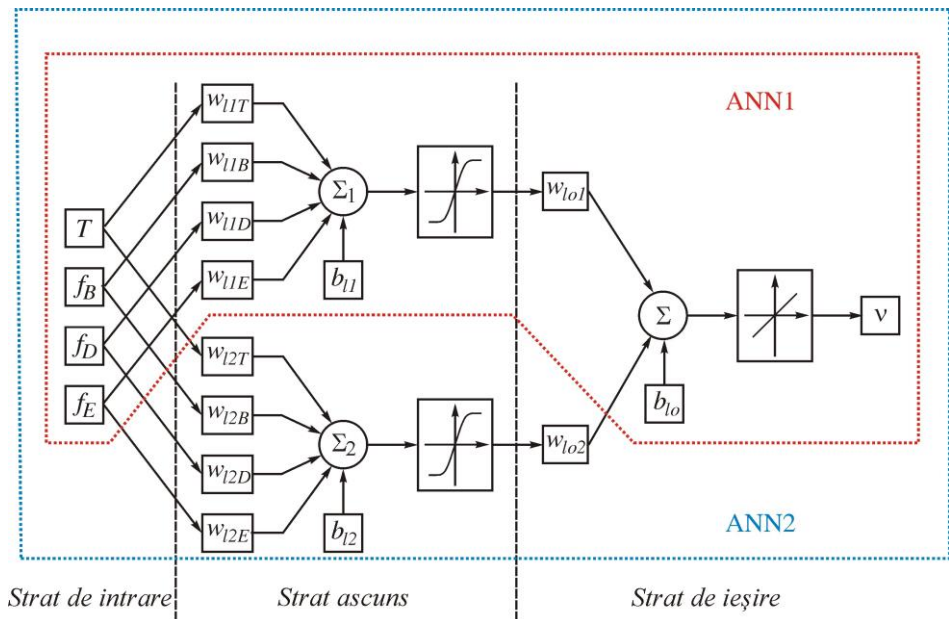


Figura 3.7. Structura modelului ANN pentru determinarea viscozității cinematice ( $w_i$  – factori de pondere,  $b_i$  – prag de activare).

Cele 132 seturi de date de intrare au fost împărțite în trei grupe: de antrenare (format din 70% din datele de intrare), de testare și de validare (fiecare fiind format din câte 15% din datele de intrare). Pentru evaluarea parametrilor rețelelor au fost efectuate câte 10 rulări și au fost considerate cele cu precizie maximă.

La modelarea viscozității cinematice prin RNA cu un singur neuron s-a obținut relația:

$$v = a_0 + \frac{b}{e^{A \cdot v_B + B \cdot v_D + C \cdot v_E + D \cdot T + a_1} + 1}, \quad (3.41)$$

unde  $a_0 = 149,6076$ ;  $a_1 = -2,79189$ ;  $b = 148,54541$ ;  $A = 11,00481$ ;  $B = 9,93052$ ;  $C = 8,964048$ ;  $D = -0,038243$ , iar în cazul modelului cu doi neuroni a rezultat ecuația:

$$v = a_0 + \frac{b_1}{e^{A_{11} \cdot v_B + B_{11} \cdot v_D + C_{11} \cdot v_E + D_{11} \cdot T + a_1} + 1} + \frac{b_2}{e^{A_{21} \cdot v_B + B_{21} \cdot v_D + C_{21} \cdot v_E + D_{21} \cdot T + a_2} + 1}, \quad (3.42)$$

unde  $a_0 = 6,02650$ ;  $a_1 = 0,11436$ ;  $a_2 = 24,80655$ ;  $b_1 = 499,62468$ ;  $b_2 = -5,141821$ ;  $A_{11} = -5,32869$ ;  $B_{11} = -4,44759$ ;  $C_{11} = -2,04028$ ;  $D_{11} = 0,03211$ ;  $A_{21} = 2,44169$ ;  $B_{21} = 6,55526$ ;  $C_{21} = 21,00997$ ;  $D_{21} = -0,127598$ .

Exprimând conținutul de motorină în funcție de conținutul de biodiesel și etanol:

$$v_D = 1 - v_B - v_E \quad (3.43)$$

și înlocuind în relațiile anterioare, rezultă relațiile:

$$v = a_0 + \frac{b}{e^{A \cdot v_B + C \cdot v_E + D \cdot T + a_1} + 1}, \quad (3.44)$$

unde  $a_0 = 149,6076$ ;  $a_1 = 7,13863$ ;  $b = 148,54541$ ;  $A = 1,07429$ ;  $C = -0,966472$ ;  $D = -0,038243$ , în cazul arhitecturii cu un singur neuron, și

$$v = a_0 + \frac{b_1}{e^{A_{11} \cdot v_B + B_{11} \cdot v_D + C_{11} \cdot v_E + D_{11} \cdot T + a_1} + 1} + \frac{b_2}{e^{A_{21} \cdot v_B + B_{21} \cdot v_D + C_{21} \cdot v_E + D_{21} \cdot T + a_2} + 1}, \quad (3.45)$$

unde  $a_0 = 6,02650$ ;  $a_1 = -4,33323$ ;  $a_2 = 31,36181$ ;  $b_1 = 499,62468$ ;  $b_2 = -5,141821$ ;  $A_{11} = -0,8811$ ;  $C_{11} = 2,40731$ ;  $D_{11} = 0,03211$ ;  $A_{21} = -4,11357$ ;  $C_{21} = 14,45471$ ;  $D_{21} = -0,127598$ , pentru arhitectura cu doi neuroni.

Precizia modelului cu doi neuroni este net superioară celui cu un singur neuron, 98% dintre valorile estimate având eroarea relativă sub

4%, în timp ce pentru cel cu un singur neuron eroarea relativă sub această valoare fiind de doar 70% (Figura 3.8).

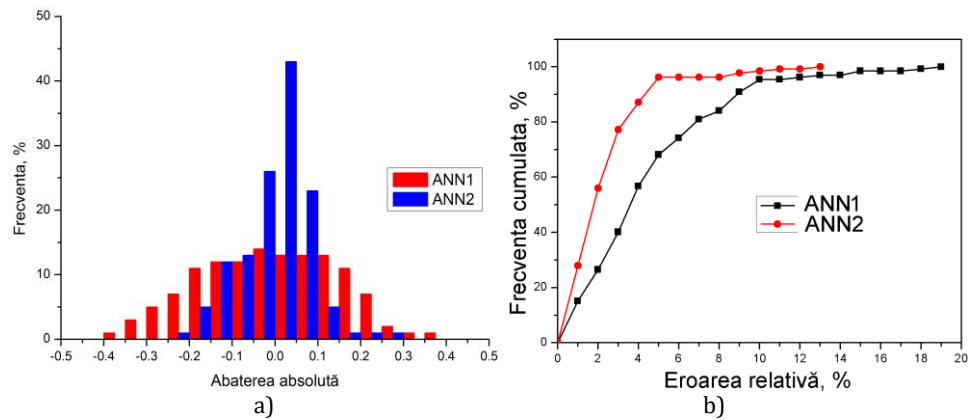


Figura 3.8. Distribuția erorilor absolute (a) și relative (b) pentru modelele ANN.

Indicatorii statistici ai preciziei modelelor pentru evaluarea viscozității cinematice a amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol sunt redați în Tabelul 3.11. Se poate constata că AARD și AAD cele mai mici sunt furnizate de modelul ponderat a lui Kay, urmat de ANN2. Modelul ANN2 are coeficientul de corelație cel mai mare și RMSE cel mai mic.

Tabelul 3.11. Indicatorii statistici pentru evaluarea modelelor ANN

| Modelul                                      | AARD, %       | AAD, %        | RMSE          | R             |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Semilogaritmice, fracții masice, rel. (3.39) | 4,2827        | 0,1303        | 0,1194        | 0,9966        |
| Kay ponderat, fracții molare, rel. (3.40)    | <b>1,5879</b> | <b>0,0612</b> | 0,1284        | 0,9964        |
| ANN 1 neuron, rel. (3.44)                    | 4,3646        | 0,1327        | 0,2283        | 0,9896        |
| ANN 2 neuroni, rel. (3.45)                   | 2,1946        | 0,0654        | <b>0,0968</b> | <b>0,9982</b> |

Corelația dintre valorile măsurate și cele estimate ale viscozității cinematice este redată în Figura 3.9.

În cazul modelelor semilogaritmice ponderate și Kay ponderate, erorile cele mai mari au fost constatate la valorile reduse ale temperaturii, mai ales în cazul amestecurilor la care conținutul de etanol a fost mai mare decât conținutul de biodiesel. Acest lucru se datorează faptului că biodieselul nu poate asigura la aceste temperaturi solubilitatea amestecului. În cazul ambelor modele, valorile estimate sunt mai reduse decât cele măsurate în cca. 70% dintre cazuri. Modelul obținut prin ANN cu un singur neuron furnizează în egală măsură valori supraevaluate și

subevaluate, iar în cazul celui cu doi neuroni cca. 60% din valorile estimate fiind mai mari decât cele măsurate.

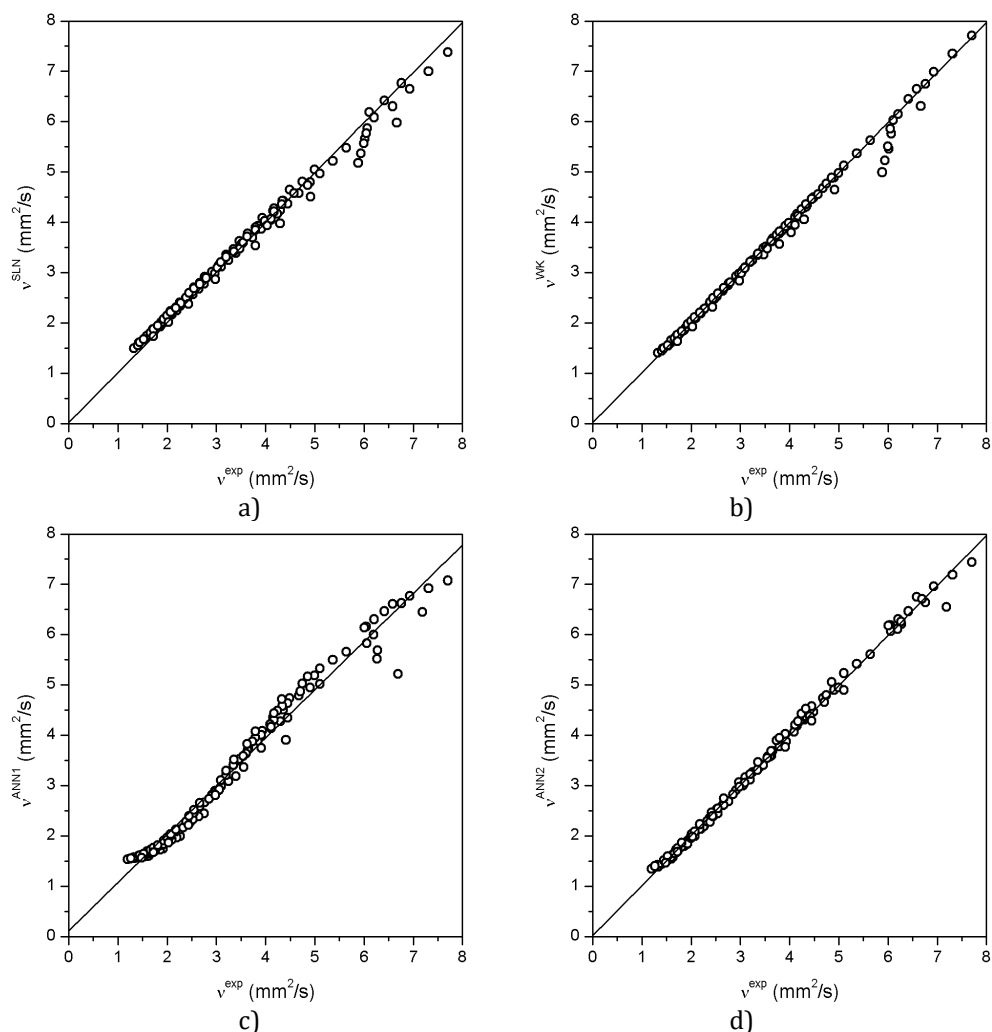


Figura 3.9. Corelația dintre valorile măsurate și cele estimate ale viscozității cinematice: a – relația (3.39), b – relația (3.40), c – relația (3.44), d – relația (3.45).

Modelele propuse se pot utiliza pentru evaluarea viscozității amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol, furnizând informații utile privind prepararea unor amestecuri cu respectarea limitelor de viscozitate din standardele de calitate pentru combustibilii diesel sau în scopul modelării proceselor de formare și ardere a amestecurilor de combustibil-aer. În Figura 3.10 este redată variația viscozității cinematice la 40 °C a amestecurilor studiate, utilizând modelul ANN2.

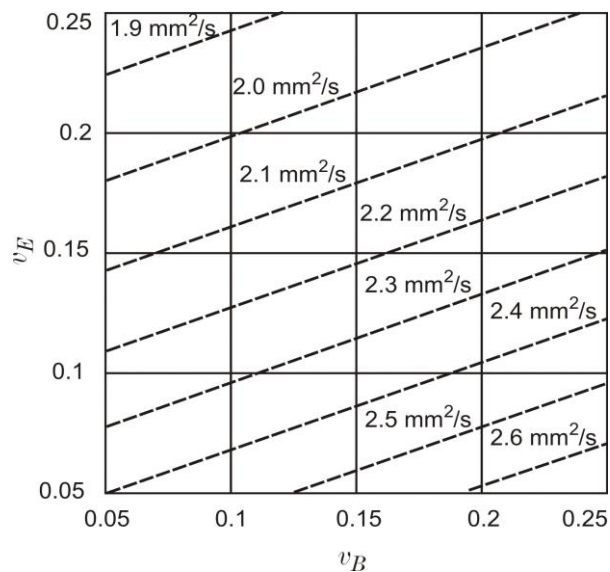


Figura 3.10. Variația viscozității cinematice a amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol în funcție de compoziția acestora.

### 3.4.6. Evaluarea modelelor pentru alte tipuri de biodiesel

Factorii de ponderare prezentați mai sus au fost stabiliți pentru amestecuri de biodiesel produs din ulei de rapiță, motorină comercializată în România și etanol.

Pentru a stabili credibilitatea modelelor în cazul unor amestecuri de biodiesel-motorină-etanol realizate din combustibili produși din alte materii prime au fost utilizate datele din literatură. Din nefericire, literatura de specialitate este destul de săracă în această privință, doar pentru amestecuri de BME realizate cu biodiesel produs din ulei de palmier [25] și soia [69] se regăsesc valori ale viscozității cinematice.

Deoarece în aceste lucrări compoziția amestecurilor prezentate erau volumetrice, doar modele de acest tip au fost testate.

După cum rezultă din Tabelul 3.12, modelul ponderat al lui Kay furnizează valori mai reduse decât cele măsurate, pe când modelul semilogaritmic ponderat furnizează valori superioare celor indicate de către autorii citați mai înainte.



Tabelul 3.12. Verificarea modelelor de viscozitate pentru datele existente în literatura de specialitate corespunzătoare temperaturii de 313,15 K

| Compoziția amestecurilor, % (v/v)       |       |      | Viscozitatea cinematică indicată în sursa bibliografică, mm <sup>2</sup> /s | Modelul Kay ponderat                       |         | Modelul semilogaritmice ponderat           |         |
|---|-------|------|---|--|---------|--|---------|
| B                                       | M     | E    |   | Viscozitatea calculată, mm <sup>2</sup> /s | EPMA, % | Viscozitatea calculată, mm <sup>2</sup> /s | EPMA, % |
| Metil ester al uleiului de palmier [25] |       |      |   |  |         |  |         |
| 15                                      | 80    | 5    | 2,63  | 2,520                                      | -4,177  | 2,634                                      | 0,142   |
| 10                                      | 85    | 5    | 2,57  | 2,439                                      | -5,101  | 2,545                                      | 0,968   |
| Metil ester al uleiului de soia [69]    |       |      |   |  |         |  |         |
| 2,05                                    | 94,95 | 3,00 | 3,00  | 2,82                                       | -6,07   | 2,88                                       | -4,08   |
| 6,00                                    | 89,90 | 4,10 | 2,90  | 2,75                                       | -6,07   | 2,82                                       | -2,88   |
| 9,00                                    | 84,85 | 6,15 | 2,77  | 2,69                                       | -2,93   | 2,76                                       | -0,28   |
| 12,00                                   | 79,80 | 8,20 | 2,74  | 2,62                                       | -4,23   | 2,71                                       | -1,23   |

### 3.5. Concluzii privind modelarea densității și viscozității amestecurilor de BME

1. Corectarea compoziției volumice a amestecurilor în funcție de temperatură îmbunătățește ușor precizia de estimare a densității.
2. Deoarece constituenții amestecurilor de BME au caracter diferit, la estimarea precisă a densității acestora volumul în exces nu poate fi neglijat; acesta poate fi asimilat printr-o eroare absolută ce depinde de compoziție și de temperatură.
3. Modelele dezvoltate pot fi utilizate pentru estimarea densității amestecurilor de BME în domeniul temperaturilor cuprinse între 273,15 – 343,15 K. Modelele pot fi utilizate și în afara acestui domeniu, însă precizia lor probabil va fi mai scăzută.
4. În acest caz, se recomandă exprimarea densității constituenților cu RaSD, care descrie densitățile constituenților până la temperatura lor critică.
5. Parametrii modelelor au fost determinați pentru motorină și biodiesel, deoarece proprietățile acestor combustibili luați în studiu, pot varia într-un domeniu relativ larg, modelele putând oferi o precizie mai redusă. Se recomandă ca în aceste cazuri să se reia

- modelarea urmărind metodologia prezentată și identificând valorile constantelor modelelor pentru situațiile particulare.
6. Modelele dezvoltate sunt utile pentru estimarea densității și viscozității amestecurilor de BME în scopul proiectării proceselor tehnologice, prepararea unor amestecuri care să respecte limitările impuse de către standardele de calitate privind combustibilii pentru motoarele cu aprindere prin comprimare.
  7. Majoritatea modelelor evaluate pentru determinarea viscozității amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol pot fi utilizate pentru estimarea viscozității cinematice ale acestora.
  8. Complexitatea modelelor evaluate pentru estimarea viscozității amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol nu se reflectă întotdeauna în precizia acestora. Modelul Kay ponderat furnizează rezultate comparabile cu ANN2.
  9. Modelele pot fi utilizate în funcție de modul de exprimare a compoziției amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol (fracțiuni volumice, masice sau molare) și în funcție de precizia invocată de aplicația propriu-zisă în care sunt utilizate.
  10. Gradul de generalitate cel mai ridicat este furnizat de către modelele obținute prin ANN, oferind estimarea viscozității amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol în funcție de temperatură și compoziție printr-o singură relație. Avantajul modelelor ANN este că nu se bazează pe viscozitatea constituenților ca celelalte metode, iar domeniul de temperatură în care ele pot fi utilizate este de la 0 la 70 °C.
  11. Parametrii modelelor evaluate și propuse sunt determinați pentru combustibilii utilizați în cercetările experimentale întreprinse. Având în vedere faptul că atât compoziția biodieselului cât și a motorinei depinde de natura și calitatea materiei prime/constituenților din care se obțin, modelele elaborate pot fi utilizate în cazul altor tipuri de biodieseluri și motorine, cu luarea în considerare a diferențelor. Considerând că metodele de determinare a parametrilor modelelor sunt descrise detaliat, adaptarea acestora pentru alți combustibili care au caracteristici diferite este facilă.
  12. Se poate considera că modelul cel mai precis este ANN2, urmat de Kay ponderat, de cel semilogaritmic și ANN1.

## 4. Studiul experimental al procesul de injecție

### 4.1. Considerații generale privind studiul procesului de injecție

Calitatea procesului de injecție are un rol primordial asupra formării și arderii amestecului combustibil-aer. Cercetările experimentale au demonstrat faptul că procesul de pulverizare a combustibilului influențează cel mai puternic emisiile de  $\text{NO}_x$  și CO [70]. Calitatea amestecului combustibil-aer în cazul MAC este puternic influențată de caracteristicile jetului de combustibil injectat în camera de ardere, care la rândul lor sunt determinate – pe lângă presiunea de injecție, temperatura și presiunea din camera de ardere, geometria injectorului etc. – , de proprietățile fizico-chimice ale combustibilului [71].

Calitatea jetului și a pulverizării pot fi caracterizate prin penetrația jetului, unghiul conului de injecție, lățimea maximă a jetului, viteza de înaintare a jetului, finețea pulverizării, distribuția dimensională a picăturilor, viteza de vaporizare a combustibilului injectat etc.

Geometria jetului de combustibil (Figura 4.1) poate fi studiată în condiții reale în motoare speciale prevăzute cu sisteme de filmare continuă cu camere video rapide, fotografiere secvențială sau pe standuri speciale care reproduc într-o măsură mai mare sau mai mică, condițiile reale.

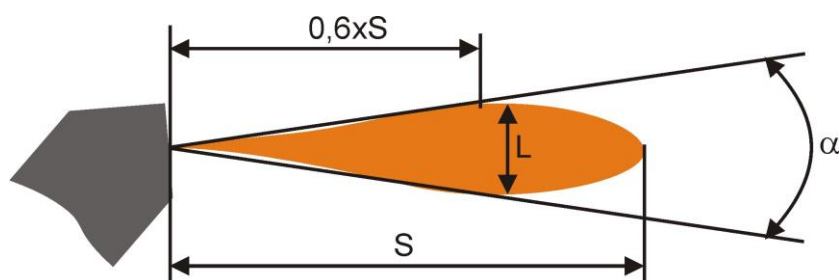


Figura 4.1. Elementele geometrice principale ale jetului de combustibil injectat.

De regulă, pe standurile speciale, procesul de injecție este studiat evitând autoaprinderea amestecului combustibil-aer (prin asigurarea unei atmosfere inerte – lipsa oxigenului), cu sau fără punerea în evidență a fenomenelor de vaporizare (prin reglarea temperaturii atmosferei în care are loc injecția).

Scopul principal al cercetărilor a fost evaluarea comparativă a parametrilor geometrici ai jeturilor formate la injecția a patru tipuri de combustibili (motorină – M100, biodiesel – B100, amestec de 30% biodiesel și 70% motorină – B30M70 și amestec de 25% biodiesel, 70% motorină și 5% bioetanol – B25M70E5), fără a ține cont de procesele de evaporare a combustibilului pulverizat.

## **4.2. Echipamentul utilizat și rezultate obținute la studiul procesului de injecție**

Schema echipamentului experimental este prezentată în Figura 4.2. Pentru a evita autoaprinderea combustibilului, camera 8 a fost umplută cu un gaz inert (azot) aflat în tubul 1 la presiunea de 20 MPa. Presiunea din cameră a fost reglată prin intermediul reductorului de presiune 2 și monitorizată cu ajutorul senzorului de presiune 11. Camera presurizată a fost prevăzută cu patru geamuri ce au permis observarea formării jetului de combustibil, iar pereții interiori ai acesteia au fost căptușiți cu material textil de culoare închisă pentru a evita reflexia luminii. Injectorul 7, plasat în partea inferioară a camerei presurizate, blițul 9, poziționat în dreptul unui geam lateral și aparatul foto situat în dreptul geamului superior au fost comandate și sincronizate cu ajutorul unității de comandă 13.

Fotografia standului experimental este prezentată în Figura 4.3. Unitatea de comandă (Figura 4.4) a fost concepută astfel încât să permită atât comanda injectorului, cât și a blițului și a aparatului de fotografiat.

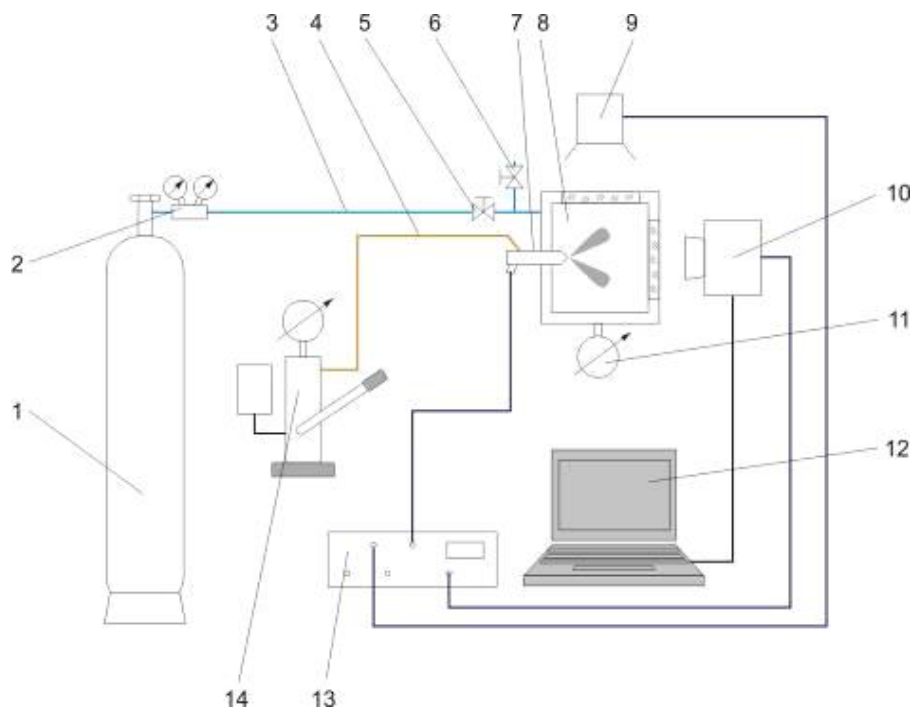


Figura 4.2. Standul experimental pentru studiul procesului de injecție:  
 1 – tub cu azot sub presiune, 2 – regulator de presiune, 3 – conductă de înaltă presiune,  
 4 – conductă de combustibil, 5 – robinet de presurizare, 6 – robinet de evacuare,  
 7 – injector, 8 – cameră presurizată, 9 – bliț, 10 – aparat foto, 11 – senzor de presiune,  
 12 – calculator, 13 –unitatea de comandă, 14 – pompă de combustibil.



Figura 4.3. Standul experimental realizat pentru studiul procesului de injecție.

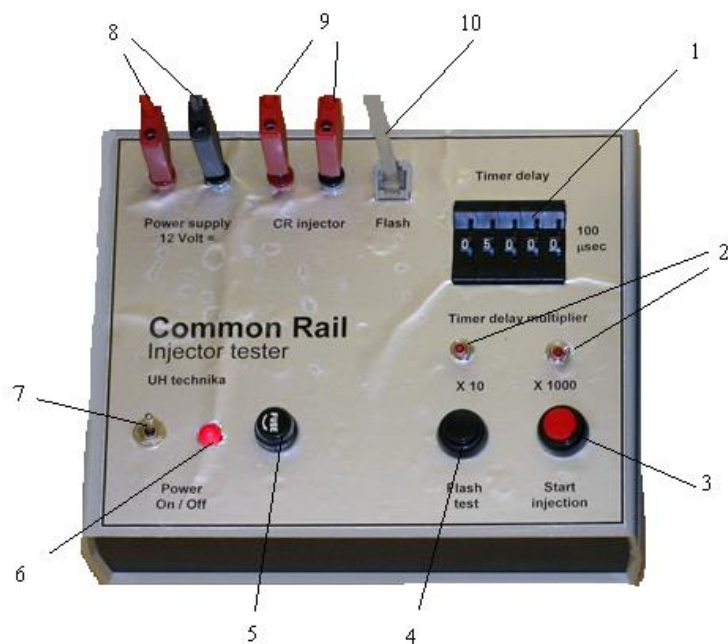


Figura 4.4. Testerul electronic de injectare:  
 1 – modul de setare a timpului de întârziere; 2 – comutatori de setare a domeniilor timpilor de întârziere; 3 – buton de declanșare a injectiei;  
 4 – buton pentru testarea blițului; 5 – siguranță fuzibilă de protecție;  
 6 – martor luminos pentru alimentarea unității de comandă cu energie electrică;  
 7 – întrerupător principal; 8 – mufe de alimentare 12 V;  
 9 – mufe pentru comanda injectorului; 10 – mufă pentru comanda blițului.

Înainte de realizarea unei serii de imagini, sistemul de alimentare cu combustibil (rezervorul, pompa și conductele) a fost golit, apoi umplut cu combustibilul supus încercării. Apoi au fost efectuate 30–35 de injecții, pentru a asigura înlocuirea combustibilului în sistemul de alimentare cu combustibil, inclusiv în injector. După aceste operațiuni pregătitoare, camera 8 a fost presurizată cu azot. Pentru înregistrarea unei imagini, aparatul foto a fost declanșat cu un timp de expunere mare (cca. 2 s), după care a fost inițiată injecția de combustibil. Blițul a fost declanșat cu o întârziere  $t_b$  față de începutul injecției, moment în care jetul de combustibil a fost iluminat pentru o perioadă scurtă ( $1/30000$  s). Deoarece în camera presurizată a fost întuneric, singura imagine înregistrată este cea realizată pe durata declanșării blițului (Figura 4.5). Repetând testele și măbind treptat întârzierea s-au obținut imagini ale jetului în diferite faze de dezvoltare ale acestuia. Imaginile realizate în cazul celor trei combustibili cercetați sunt redată în Tabelul 4.1.

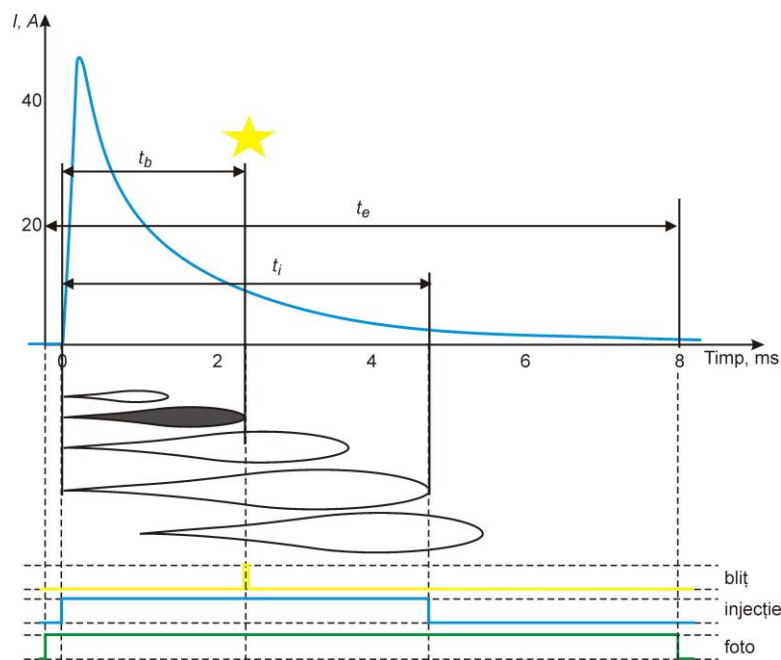


























Figura 4.5. Secvențele realizării imaginii jetului:  $I$  – curentul electric prin înfășurările electromagnetului bobinei de acționare a injectorului;  $t_i$  – durata injecției;  $t_e$  – expunerea aparatului foto;  $t_b$  – întârzierea față de începerea injecției cu care blițul se declanșează.

Tabelul 4.1. Imaginile înregistrate ale jeturilor în cazul combustibililor testați

























| Timp, ms | Presiunea de injecție: <b>50 MPa</b> |      |        |          |
|----------|--------------------------------------|------|--------|----------|
|          | Presiunea din cameră: <b>1 MPa</b>   |      |        |          |
|          | M100                                 | B100 | B30M70 | B25M70E5 |
| 0,70     |                                      |      |        |          |
| 1,00     |                                      |      |        |          |

Tabelul 4.1. (Continuare): Imaginile înregistrate ale jeturilor

| Timp, ms | Presiunea de injecție: <b>50 MPa</b>  |   |  |   |
|----------|---|---|--|---|
|          | Presiunea din cameră: <b>1 MPa</b>  |   |  |   |
|          | M100  | B100  | B30M70   | B25M70E5  |
| 1,50     |    |    |    |    |
| 2,10     |    |    |    |    |
| 2,70     |   |   |   |   |
| 3,10     |  |  |  |  |
| 3,80     |  |  |  |  |
| 4,20     |  |  |  |  |



Tabelul 4.1. (Continuare): Imaginile înregistrate ale jeturilor

| Timp, ms | Presiunea de injecție: <b>50 MPa</b>  |   |   |  |
|----------|---|---|---|--|
|          | Presiunea din cameră: <b>1 MPa</b>  |   |   |  |
|          | M100  | B100  | B30M70  | B25M70E5   |
| 4,70     |    |    |    |    |
| 5,00     |    |    |    |    |
| 5,70     |   |   |   |   |
| 6,30     |  |  |  |  |
| 7,30     |  |  |  |  |
| 7,50     |  |  |  |  |

Lungimea și unghiul de dispersie a jetului au fost măsurate importând imaginile înregistrate în mediul grafic CorelDraw. Deoarece imaginile au fost înregistrate într-un plan perpendicular pe axa centrală a injectorului, valorile măsurate au fost corectate conform Figura 4.6. Rezultatele obținute în cazul jetului stânga-sus sunt prezentate în Figura 4.7, Figura 4.8 și Figura 4.9. Viteza frontului jetului a fost calculată ținând cont de variația lungimii jetului în intervalul de timp considerat.

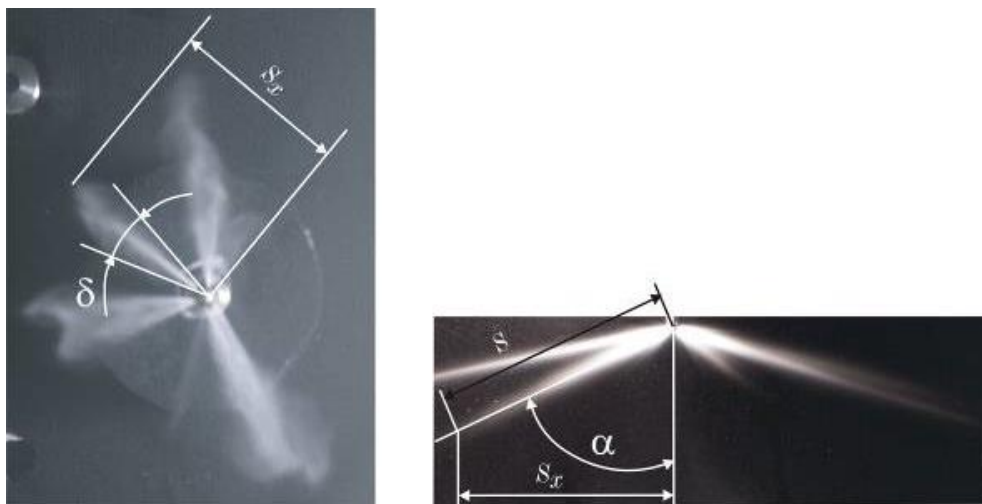


Figura 4.6. Măsurarea și corectarea parametrilor geometrici ai jetului de combustibil.

Penetrația jeturilor măsurate în cazul biodieselului și a amestecului de biodiesel-motorină este mai modestă decât cea măsurată în celelalte cazuri, mai ales în faza de dezvoltare a jetului. În cazul amestecului de BME, dezvoltarea jetului de combustibil în primele 3 ms (critică în realizarea amestecului de combustibil-aer) este similară cu cea observată în cazul jetului de motorină.

În cazul unghiului conului de injecție, amestecul de BME se comportă similar cu motorina, însă ceilalți combustibili prezintă un unghi ușor mărit.

Viteza vârfului jetului injectat este similară în cazul motorinei și a amestecului BME, biodieselul și amestecul de biodiesel-motorină prezintă diferențe semnificative, mai ales în primele 2 ms.

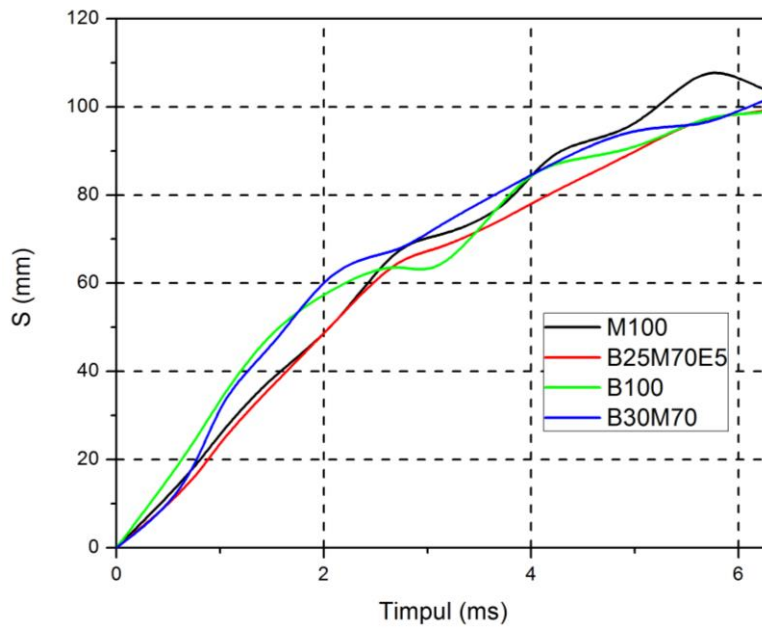


Figura 4.7. Evoluția penetrației jetului,  $S$ , în funcție de timp.

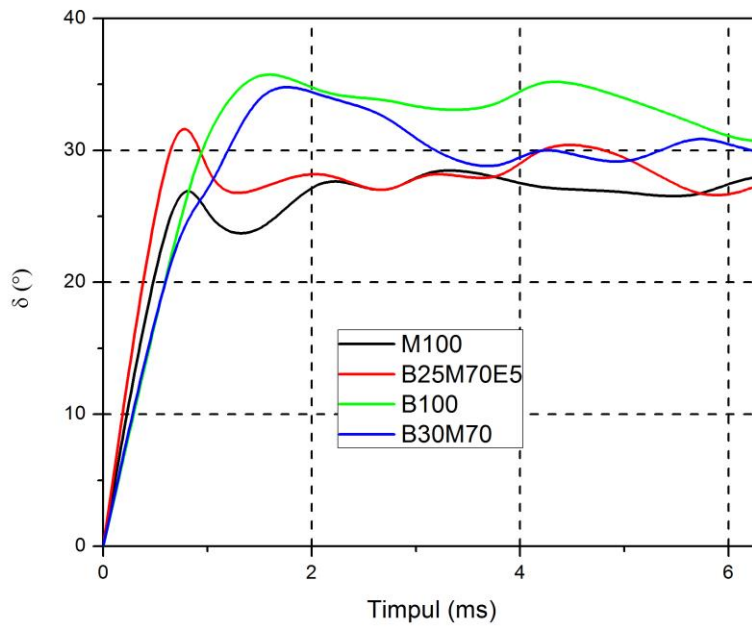


Figura 4.8. Variația unghiului jetului de combustibil injectat,  $\delta$ , în funcție de timp.

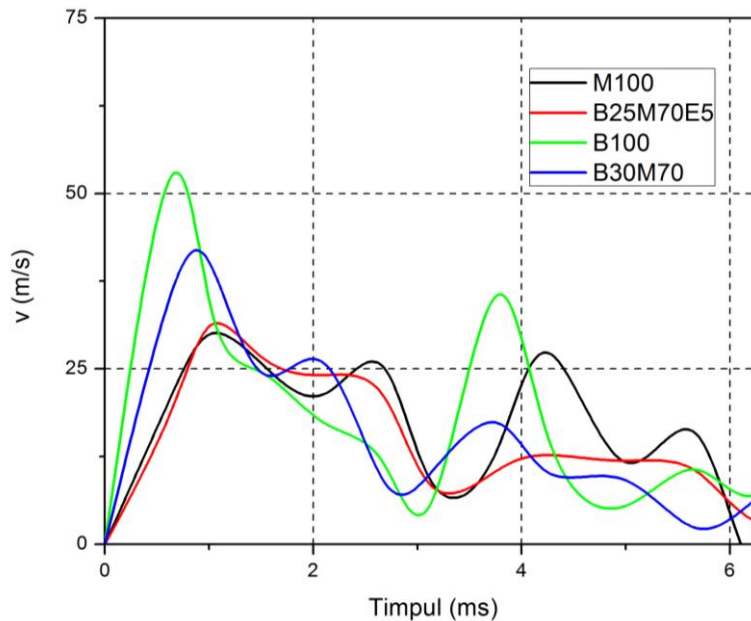


Figura 4.9. Variația vitezei frontului jetului,  $v$ , în funcție de timp.

### 4.3. Concluzii privind studiul experimental al procesului de injecție

Cercetările efectuate cu diferite tipuri de combustibil arată că:

1. Procesul de injecție de combustibil prezintă următoarele faze:
  - formarea jetului;
  - dezintegrarea acestuia;
  - deplasarea norului de combustibil.
2. Dezintegrarea este marcată de prima reducere a vitezei de deplasare a combustibilului și se produce mai târziu la biodiesel, urmat de B25M70E5, apoi de motorină.
3. Viteza de deplasare a jetului de combustibil este cea mai mare în cazul biodieselului, apoi în cazul motorinei, după care în cazul amestecului B25M70E5.
4. Cel mai mare unghi de dispersie îl are biodieselul, fiind urmat de amestecul de B25M70E5 și apoi de motorină.

## **5. Cercetări experimentale privind utilizarea amestecurilor de BME la alimentarea MAC**

### **5.1. Considerații generale privind încercările pe stand**

O etapă foarte importantă în procesul de introducere al unui nou tip de combustibil este determinarea performanțelor economice și a caracteristicilor de poluare și evaluarea critic-comparativă a acestuia față de cele determinate cu un combustibil de referință.

Parametrii de performanță au fost evaluați prin determinarea randamentului și a consumului specific efectiv de combustibil, iar cei de poluare s-au referit la emisiile de monoxid de carbon (CO), emisiile de dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>), conținutul de oxigen al gazelor de evacuare (O<sub>2</sub>), emisiile de oxizi de azot (NO<sub>x</sub>) și de hidrocarburi nearse (HC), precum și opacitatea gazelor de evacuare.

Rezultatul principal al acestor cercetări a constat în formularea unor concluzii privind utilizarea amestecurilor de biodiesel-motorină-etanol la alimentarea motoarelor Diesel și posibilitatea funcționării acestora în sistem flexfuel.

### **5.2. Materiale și metode utilizate**

Cercetările experimentale privind performanțele și poluarea motorului cu ardere internă au vizat trei tipuri de amestecuri de biodiesel-motorină-bioetanol (B10M85E5, B25M70E5 și B10M80E10), iar combustibilul de referință a fost motorina comercială, identică cu cea cu care au fost preparate amestecurile testate.

Compoziția amestecurilor a fost aleasă ținând cont de miscibilitate, stabilitate, precum și de proprietățile fizico-chimice evaluate în cadrul unor cercetări experimentale anterioare.

Pentru prepararea amestecurilor s-a utilizat motorină comercială ce nu conținea biodiesel, biodiesel fabricat prin transesterificarea ule-

iului de rapiță și bioetanol deshidratat, având conținutul de etanol de 99,3% (m/m).

Cercetările experimentale privind determinarea performanțelor economice și a emisiilor poluante au avut loc pe standul de încercare prezentat în Figura 5.1. Standul a fost echipat cu un motor cu aprindere prin comprimare, având caracteristicile principale prezentate în Tabelul 5.1, frână hidraulică și sistem de achiziție de date pentru înregistrarea mărimilor măsurate.



Figura 5.1. Standul de încercare.

Tabelul 5.1. Caracteristicile principale ale motorului cu aprindere prin comprimare

| Caracteristica        | Valoarea              |
|-----------------------|-----------------------|
| Numărul de cilindri   | 4, în linie           |
| Alezaj                | 110 mm                |
| Cursă                 | 130 mm                |
| Raport de comprimare  | 17:1                  |
| Puterea maximă        | 46,5 kW la 1800 r/min |
| Moment maxim          | 285 N m la 1200 r/min |
| Cilindreea totală     | 4,76 L                |
| Presiunea de injecție | 175 ± 5 bar           |
| Sistemul de injecție  | Mecanic               |

Pentru evaluarea emisiilor poluante s-a utilizat un analizor de gaze de tip Bosch BEA 350.

Caracteristicile de sarcină au fost ridicate la turația motorului de 1400 r/min, această turație situându-se între cea corespunzătoare momentului maxim, respectiv a puterii maxime. Înainte de fiecare încercare au fost înlocuite filtrele de combustibil, iar motorul a fost adus la temperatura de regim. Pentru evaluarea rezultatelor obținute, acestea au fost comparate cu cele obținute în cazul motorinei. Evaluarea rezultatelor a avut loc în trei domenii ale sarcinii motorului: sarcini mici (0-40%), medii (40-80%) și mari (peste 80%).

### 5.3. Performanțe economice

#### 5.3.1. Consumului specific efectiv de combustibil

Rezultatele obținute în cazul consumului specific de combustibil în funcție de sarcina motorului sunt redată în Figura 5.2. Consumul specific de combustibil este mai mare la sarcini mici, însă se reduce la sarcini medii și mari. Valorile cele mai mici s-au constatat în cazul motorinei. Pentru amestecurile BME consumul specific de combustibil este mai mare, deoarece puterea calorică a acestora este mai mică. Ordinea este M100, B10M85E5, B10M80E10 și B25M70E5 și se păstrează la toate sarcinile motorului, respectând ordinea crescătoare a conținutului de biocombustibil.

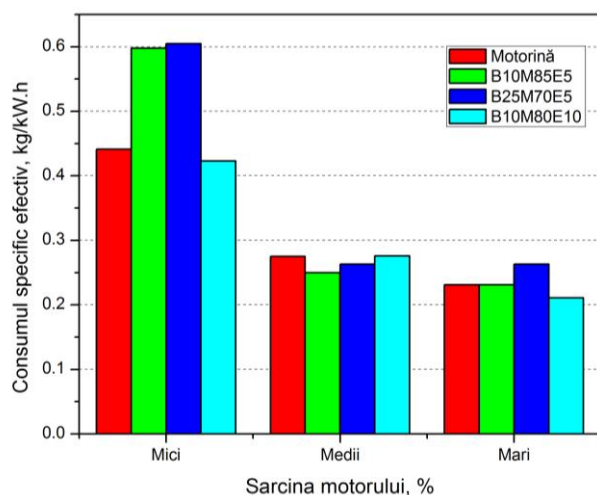


Figura 5.2. Variația consumului specific efectiv de combustibil în funcție de sarcină.

Creșterile sunt mai mari la sarcini mici (32,4% în cazul B25M70E5), la sarcini medii și mari, valorile determinate în cazul amestecurilor BME fiind comparabile cu cele constatate în cazul motorinei, creșterile situându-se între 6,2 și 15,8%.

### 5.3.2. Randamentul motorului

Variația randamentului motorului în funcție de sarcină în cazul combustibililor cercetați este arătată în

Figura 5.3. Așa cum era de așteptat, randamentul motorului scade în cazul amestecurilor de BME, tendințele fiind similare celor constatate în cazul consumului specific de combustibil. Scăderea randamentului este cuprinsă între 0,4 și 21,7%.

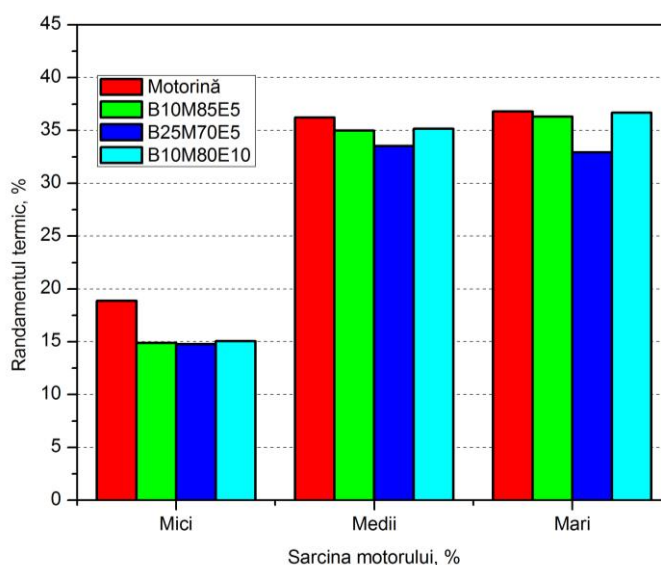


Figura 5.3. Variația randamentului motorului în funcție de sarcină.

## 5.4. Evaluarea poluării motorului

### 5.4.1. Emisiile de monoxid de carbon

Emisiile de monoxid de carbon variază în funcție de combustibilul utilizat și sarcina motorului (Figura 5.4). Astfel, la sarcini mici și medii, emisiile cele mai mari au fost măsurate în cazul motorinei, iar cele mai reduse în cazul amestecului B10M80E10.



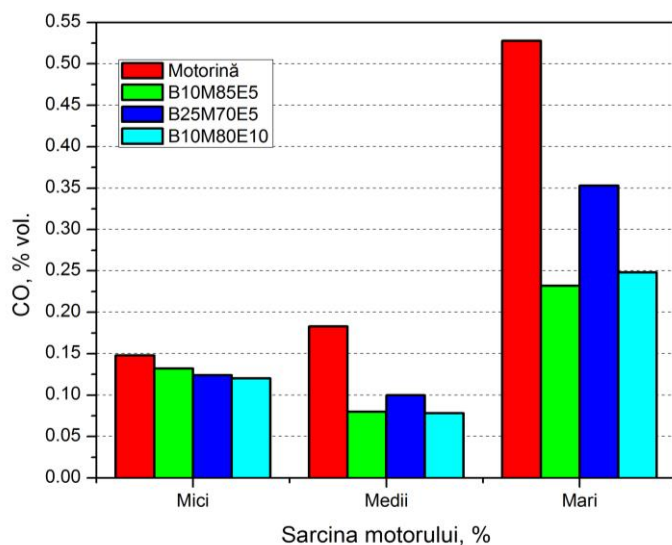


Figura 5.4. Variația emisiilor de monoxid de carbon în funcție de sarcină.

#### 5.4.2. Emisiile de dioxid de carbon

Emisiile de CO<sub>2</sub> în cazul amestecurilor cercetate sunt superioare celor măsurate în cazul funcționării motorului cu motorină la toate sarcinile (Figura 5.5). Creșterea nivelului de emisii de CO<sub>2</sub> poate fi pusă pe seama scăderii CO, care se oxidează în continuare datorită conținutului ridicat de oxigen al amestecurilor de BME utilizate, asigurând o ardere mai completă. De asemenea, surplusul de oxigen face posibilă oxidarea CO și pe durata procesului de evacuare, inclusiv pe traseul de evacuare a gazelor de ardere. Rezultate asemănătoare au fost prezentate și în [28, 72].

Această explicație este susținută și prin reducerea emisiilor de CO față de cele constatate în cazul motorinei. Creșterea emisiilor de CO<sub>2</sub> nu poate fi considerată ca o consecință negativă, deoarece ea va fi consumată în procesul de fotosinteză ale plantelor din care sunt fabricați biocombustibili.

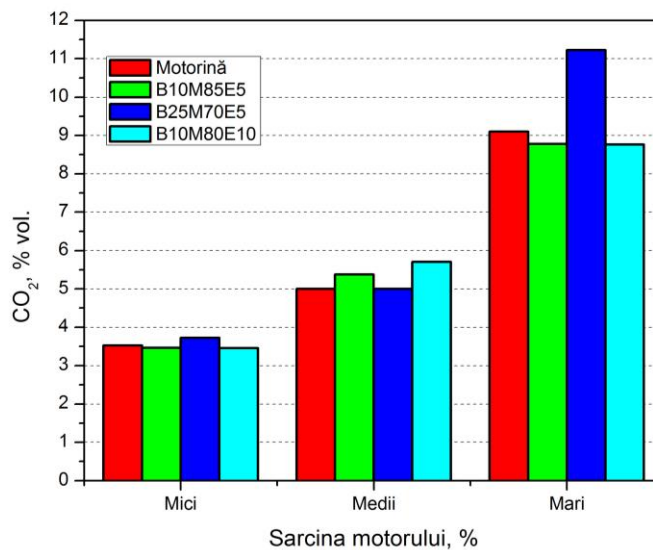


Figura 5.5. Variația emisiilor de dioxid de carbon în funcție de sarcină.

### 5.4.3. Emisiile de oxizi de azot

Emisiile de  $\text{NO}_x$  ale motorului Diesel încercat cu combustibilii cercetați la diferite sarcini sunt redată în Figura 5.6. Se poate observa că la sarcini mici, prezența compușilor organici oxigenați în combustibil are o influență nesemnificativă asupra nivelului emisiilor de  $\text{NO}_x$ , prezentând, de regulă, o ușoară reducere. La sarcini medii și mari însă, emisiile de  $\text{NO}_x$  sunt superioare celor constatate în cazul motorinei cu 10-26%. Creșterea emisiilor de  $\text{NO}_x$  la sarcini medii și mari poate fi explicată prin creșterea temperaturii de ardere a combustibilului, datorită prezenței oxigenului în moleculele biodieselului și etanolului, care face posibilă o ardere mai completă și o creștere a temperaturii din camera de ardere, lucru ce favorizează formarea oxizilor de azot. De asemenea, datorită cifrei cetanice reduse a etanolului, cifra cetanică a amestecului se reduce. Acest lucru conduce la creșterea întârzierii la autoaprindere a amestecului combustibil-aer. Astfel, până în momentul autoaprinderii în camera de ardere se acumulează o cantitate mai mare de combustibil decât în cazul motorinei, iar amestecul de combustibil-aer acumulat va arde mai rapid, generând o degajare de căldură mai rapidă la începutul procesului de ardere, rezultând o temperatură mai ridicată ce favorizează formarea oxizilor de azot [73].

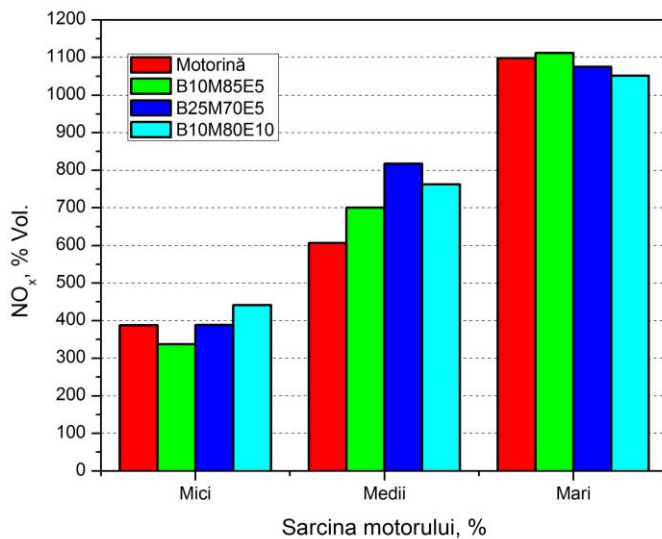


Figura 5.6. Variația emisiilor de oxizi de azot în funcție de sarcină.

#### 5.4.4. Emisiile de hidrocarburi

Variația emisiilor de HC în funcție de sarcină pentru combustibili cercetați este redată în Figura 5.7. Se poate observa că în cazul amestecurilor cu un conținut de 5% etanol, emisiile de hidrocarburi se reduc în mod semnificativ față de motorină în toate cele trei domenii ale sarcinii motorului. Amestecurile cu un conținut mai ridicat de etanol generează emisii de HC mai mari, iar cele cu un conținut mai mare de biodiesel au emisii de HC mai reduse. Acest lucru sugerează faptul că prezența etanolului în amestec este un factor de creștere a emisiilor de HC, pe când prezența biodieselului conduce la reducerea acestora.

O explicație ar putea fi dată prin prisma cifrei cetanice: biodieselul având cifra cetanică superioară motorinei favorizează autoaprinderea ușoară și arderea mai completă a amestecului, pe când cifra cetanică redusă a etanolului acționează în mod opus. Datorită cifrei cetanice reduse, etanolul se va autoaprinde mai târziu și va arde incomplet, mărinde astfel conținutul de hidrocarburi nearse ale gazelor de evacuare. Reducerea emisiilor de hidrocarburi nearse se poate constata în domeniul sarcinilor mari de circa 50%.

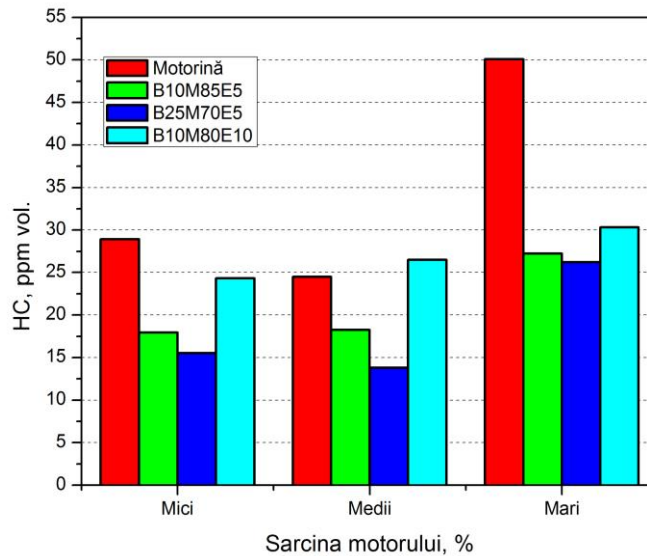


Figura 5.7. Variația emisiilor de hidrocarburi în funcție de sarcină.

#### 5.4.5. Emisiile de fum

Emisiile de fum ale motorului Diesel au fost evaluate prin măsurarea opacității gazelor de evacuare, pusă în evidență prin coeficientul de absorbție a luminii (Figura 5.8). Opacitatea gazelor de evacuare s-a redus în mod semnificativ (cu peste 50%) în cazul tuturor amestecurilor, mai ales la sarcini mici și medii. La sarcini mari, reducerea este cuprinsă între 27,6% (constată în cazul amestecului B25M70E5) și 50,3% (determinată în cazul amestecului B10M85E5). Deși este cunoscut faptul că în cazul utilizării amestecurilor oxigenați, emisiile de particule ale motorului cu aprindere prin comprimare se reduc [28], mecanismul prin care are loc acest lucru nu și-a găsit încă o explicație plauzibilă.

Formarea fumului are loc în zonele bogate în combustibil ale camerei de ardere, mai ales în zona vânei lichide a jetului injectat. Considerând că oxigenul din biocombustibili asigură oxidant pentru procesele de piroliză din zona de ardere a jetului, rezultă o reducere a formării particulelor solide [28].

Rezultatele obținute sunt confirmate de cele publicate în [28], cu mențiunea că în lucrarea respectivă s-a analizat conținutul de particule solide din gazele de evacuare.

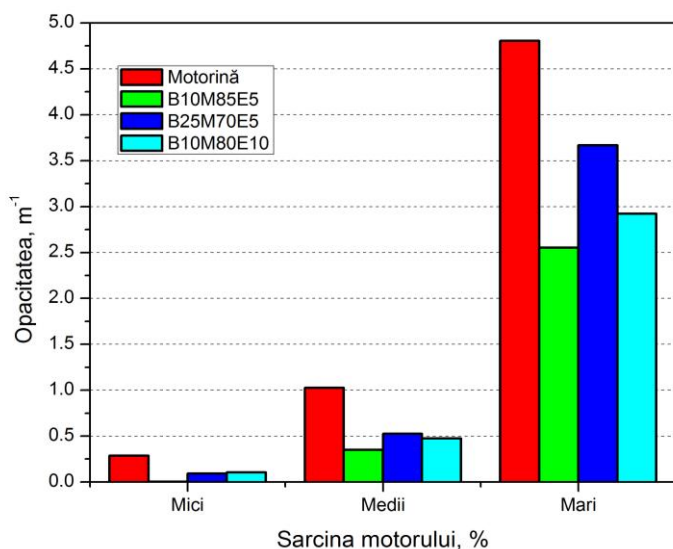


Figura 5.8. Variația emisiilor de fum în funcție de sarcină.

O evaluare comparativă a celor trei combustibili testați este re-dată în Tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Diferențele procentuale ale principalilor parametri

| Combustibil                 | B25 M70 E5 | B10 M85 E5 | B10 M80 E10 |
|-----------------------------|------------|------------|-------------|
| <b>Mărime</b>               |            |            |             |
| k, m <sup>-1</sup>          | - 38,051   | - 49,367   | - 41,926    |
| CO <sub>2</sub> , % vol.    | 3,637      | 2,573      | 2,617       |
| CH, ppm vol.                | - 61,074   | - 53,693   | - 45,974    |
| O <sub>2</sub> , % vol.     | - 4,131    | - 0,381    | - 0,931     |
| NO <sub>x</sub> , ppm vol.  | 15,259     | 7,63       | 5,128       |
| CO <sub>cor.</sub> , % vol. | - 39,554   | - 43,175   | - 53,76     |

## 5.5. Concluzii privind testarea amestecurilor pe standul de încercare echipat cu MAC

1. Datorită puterii calorice mai reduse față de motorină a biocombustibililor utilizați, performanțele motorului scad, mai ales la sarcini reduse ale acestuia. Emisiile de CO scad semnificativ pe seama creșterii emisiilor de CO<sub>2</sub>, ca rezultat al continuării oxidării inclusiv pe traseul de

evacuare, lucru ce este posibil datorită faptului că amestecurile cercetate conțin oxigen până la 4,55% m/m. Emisiile de NO<sub>x</sub> cresc, mai ales la sarcini medii și mari, fapt ce poate fi pus pe seama unei arderi mai complete și creșterii temperaturii de ardere datorate prezenței oxigenului din combustibil. Emisiile de HC scad în toate regimurile de sarcină a motorului. În ceea ce privește emisiile de fum, s-a constatat că ele scad față de cele rezultate în cazul motorinei, fiind mai mari în cazul amestecurilor cu conținut ridicat de biocombustibil.

2. În general, se poate concluziona că amestecurile cercetate emit mai puține noxe, mai ales la sarcini medii și mari ale motorului, excepții fiind NO<sub>x</sub>, dar și emisiile de CO<sub>2</sub>, la care valorile constatate sunt superioare celor determinate în cazul motorinei.
3. Rezultatele experimentale prezentate demonstrează viabilitatea utilizării amestecurilor de motorină-biodiesel-etanol pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin compresie.
4. În ceea ce privește emisiile de CO, ele variază în funcție de sarcina motorului. Prezența compușilor organici oxigenați în combustibil are un efect minor la sarcini mici, însă la sarcini medii și mari aceste emisii se reduc în mod semnificativ.

## 6. Posibilități și limite ale amestecurilor de BME ca și combustibili pentru MAC

Ținând cont de rezultatele prezentate în capitolele anterioare, se pot formula următoarele concluzii generale privind posibilitățile și limitele utilizării amestecurilor de BME la alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare:

1. *Utilizarea amestecurilor de BME pentru alimentarea motoarelor cu aprindere prin comprimare este posibilă deoarece:*

- motoarele cu ardere internă vor fi utilizate încă o perioadă însemnată, până când propulsiile alternative vor deveni accesibile la scară largă;
- densitatea, viscozitatea și tensiunea superficială ale amestecurilor de BME sunt foarte apropiate de cele ale motorinei, deoarece proprietățile biodieselului sunt compensate de cele ale etanolului;
- prin utilizarea unor amestecuri ternare de BME, concentrația de biocombustibil poate fi mărită semnificativ;
- la utilizarea amestecurilor de BME, calitatea procesului de injecție nu se modifică semnificativ ca în cazul biodieselului; imaginile înregistrate în fazele succesive ale procesului de injecție demonstrează că amestecul B25M70E5 se apropie foarte mult de cele înregistrate în cazul motorinei;
- consumului specific efectiv de combustibil în cazul amestecurilor de BME crește ușor, dar în limite acceptabile (în medie cu 10%);
- la utilizarea amestecurilor de BME, emisiile de fum se reduc în medie cu 40%, emisiile de hidrocarburi cu 50%, iar emisiile de monoxid de carbon cu 40%; emisiile de bioxid de carbon cresc în medie cu 4% datorită arderii mai complete a amestecurilor de BME.

2. *Utilizarea amestecurilor de BME ca și combustibili pentru MAC este limitată din următoarele considerente:*

- deoarece miscibilitatea etanolului în motorină este redusă, concentrația etanolului este limitată de stabilitatea amestecurilor ternare;
- datorită temperaturii de inflamabilitate foarte reduse a etanolului (cca. 12 °C), temperatura de inflamabilitate a amestecurilor va fi și ea redusă, mult sub temperatura de inflamabilitate minimă impusă motorinei; acest lucru face ca amestecurile să fie încadrate în clasa de inflamabilitate 2, ca și benzinele, necesitând o manipulare cu măsuri de siguranță mai severe;
- cifra cetanică redusă a etanolului (cca. 8) afectează cifra cetanică a amestecurilor, măbind întârzierea la autoaprindere a amestecului combustibil-aer; din acest motiv, la concentrații mari ale etanolului, poate fi necesară a ajustare a parametrilor de lucru ai injectoarelor de combustibil;
- un dezavantaj important este creșterea emisiilor de oxizi de azot datorită creșterii temperaturii din camera de ardere, în medie cu 7%.

Din analiza rezultatelor obținute, se constată că motorina poate fi înlocuită cu succes prin amestecuri de BME, respectând reguli mai severe de manipulare și îmbunătățind capacitatea de reducere a emisiilor de oxizi de azot ale catalizatoarelor.



## **PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI**

Sunt cadru didactic universitar începând din 1991 în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, Facultatea de Autovehicule Rutiere, Mecatronică și Mecanică.

În prezent, sunt profesor universitar, doctor inginer în cadrul Departamentului de Autovehicule Rutiere și Transporturi, responsabil al disciplinelor *Combustibili, lubrifianți și materiale speciale, Încercarea autovehiculelor, Teoria sistemelor și automatizări*, predate în cadrul ciclului de studii de licență și *Materiale biodegradabile, lubrifianți și combustibili ecologici pentru automobile, Gestionarea și reciclarea automobilelor scoase din uz, Senzori și sisteme de măsurare, Sisteme flexfuel* susținute în cadrul ciclului de studii de master.

Principalele domenii de cercetare în care am activat sunt dezvoltarea și evaluarea complexă a combustibililor pentru automobile în general, și a biocombustibililor și amestecurilor acestora cu combustibili clasici, în special. De asemenea, un domeniu de cercetare pe care l-am îmbrățișat mai recent, alături de o echipă de cercetare formată din trei cadre didactice și trei studenți, este dezvoltarea unor uleiuri de ungere aditivate cu nanoparticule și destinate, în principal, ungerii motoarelor cu ardere internă. Automobilele având conducere automată reprezintă un domeniu de cercetare nou în cariera mea științifică.

### **A. Propunere de dezvoltare a carierei universitare din punct de vedere didactic**

*Preambul:* Schimbările sociale care au avut loc și se produc în continuare la nivel mondial, european și național au ca rezultat deschiderea unor perspective noi, nemiîntâlnite până acum în toate domeniile vieții, inclusiv în cel social, din care face parte și sistemul educațional. Conform părerii multor specialiști, dar și pe baza propriilor experiențe, sistemul educațional pare a fi suferit cele mai profunde schimbări și a fost afectat foarte sever, având consecințe economico-sociale foarte diverse. În acest context, învățământul superior trebuie să răspundă exigențelor societății în cadrul căreia își desfășoară activitatea.

În aceste condiții, cariera didactică cunoaște o perioadă de reșezare în raport cu mediul economic și social, determinată de globalizarea și europenizarea în care ne integrăm, de necesitatea corelării structurii și conținutului specializărilor din cadrul sistemului de învățământ su-

perior cu cerințele pieței muncii din România și a celei europene, ținând cont și de schimbările paradigmelor educaționale, sociale, economice și axiologice.

Pentru a răspunde cerințelor de mai sus mi-am propus atingerea următoarelor obiective și activități permanente:

***OD1. Perfecționarea propriei pregătiri profesionale prin forme de educație permanentă***

Educația permanentă formală, nonformală și informală în învățământul superior a devenit o verigă importantă, deoarece pregătește studenții pentru integrarea acestora într-o societate a cunoașterii, în care complexitatea fenomenelor impune cunoștințe și competențe multiple: trecerea de la cunoașterea concepută ca un ansamblu de cunoștințe teoretice, date și informații, la cunoaștere concepută ca un ansamblu de competențe profesionale și transversale dobândite învățând prin experiență. Transmiterea și asimilarea acestui tip de cunoaștere presupune utilizarea unor metode de predare și învățare specifice, diferite față de cele utilizate până nu demult.

Educația permanentă reprezintă o verigă esențială, inclusiv în învățământul superior, deoarece rolul cadrelor didactice este să pregătească studenții astfel încât ei să reușească în cariera profesională în condițiile oferite de sistemul social actual dar, în același timp, să fie capabili să se adapteze unor condiții socio-economice mereu în schimbare în timp și în spațiu.

*Educația formală:* Pentru a răspunde acestor cerințe, în anul 2012 am participat la cursurile Școlii universitare de formare inițială și continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti, Programul de formare DidaTec, organizat în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca.

Intenționez să valorific cunoștințele acumulate în cadrul acestui curs în dezvoltarea materialelor didactice pentru disciplinele predate, precum și în perfecționarea metodelor și stilului de predare. Intenționez, de asemenea, să particip și la alte cursuri de perfecționare profesională.

*Educația nonformală:* Particip frecvent la seminariile online organizate de SAE, World Bio Markets, Lubrizol etc. De asemenea, am inițiat o masă rotundă anuală privind educația practică în domeniul ingineriei inclusă în programul Conferinței Internaționale de Inginerie Mecanică.

*Educația informală:* Pe lângă revistele de specialitate tipărite la care sunt abonat, lectuez permanent newslettere și reviste electronice în domeniul specializărilor la care sunt implicat.

### ***OD2. Actualizarea continuă a programei analitice pentru disciplinele predate***

Deoarece disciplinele tehnice sunt într-o dezvoltare continuă, atât ca și conținut, cât și ca metodă, este foarte importantă aducerea la zi a conținutului programelor analitice conform ultimelor progrese ale tehnicii și științei. Mai mult decât atât, disciplinele din planul de învățământ fiind interdependente și complementare, motiv pentru care consider că este impetuos necesară discutarea conținutului cursurilor cu colegii din departament, cu cadrele didactice de la diverse universități din țară și străinătate și nu în ultimul rând cu reprezentanții mediului economic.

La elaborarea conținutului disciplinelor de specialitate mă consult cu potențialii angajatori ai absolvenților. De asemenea, consider că discuțiile cu foștii absolvenți ai universității noastre pot pune în evidență foarte bine cerințele actuale ale pieței muncii privind competențele ce sunt necesare a fi dobândite pe durata studiilor universitare.

Pentru a putea răspunde acestor cerințe mențin o legătură strânsă cu colegii de la alte universități din țară schimbând materiale didactice și discutând conținutul cursurilor și lucrărilor de laborator. Mă mențin la curent cu tendințele din domeniul disciplinelor predate consultând literatura de specialitate la care sunt abonat (Ingineria Automobilului, Automotive Engineer, ATZ, SAE Update, Automotive Testing Technology International etc.).

De asemenea, experiența acumulată prin activitatea de cercetare îmi permite aducerea unor contribuții originale la dezvoltarea disciplinelor predate.

### ***OD3. Elaborare de cursuri și îndrumătoare de lucrări de laborator tipărite***

Disciplina *Combustibili, lubrifianți și materiale speciale* este acoperită 100% cu materiale didactice specifice tipărite, elaborate ca unic autor sau în colaborare cu colegi din departament și alți specialiști din țară și străinătate.

Disciplina *Materiale biodegradabile, lubrifianți și combustibili ecologici pentru automobile* este acoperită parțial, în special capitolele legate de lubrifianți și combustibili ecologici. Pornind de la materialele didactice existente, intenționez să elaborez pentru această disciplină un

suport de curs specific, pe care să-l public prin editura universității U.T. Press și care să fie disponibil în biblioteca universității din 2020.

Pentru disciplina *Încercarea autovehiculelor*, suportul pentru prelegeri este în curs de elaborare, în colaborare cu colegi din departament care predau discipline înrudite.

Cursul la disciplina *Teoria sistemelor și automatizări* există în format electronic și este disponibil studenților pe o platformă educațională. În ceea ce privește lucrările de laborator, la această disciplină am elaborat un îndrumător care este pus la dispoziția studenților sub formă multiplicată.

Pe termen mediu, intenționez să elaborez cursuri tipărite și pentru disciplinele neacoperite în acest moment cu publicații proprii.

#### ***OD4. Elaborare de cursuri și lucrări în format electronic, integrate în platforme informatice educaționale***

În perioada 2008-2018 am realizat și am pus la dispoziția studenților suporturi pentru cursuri și lucrări în format electronic la disciplinele *Combustibil și lubrifianți*, *Încercarea autovehiculelor* și *Teoria sistemelor și automatizări* pe o platformă informatică educațională dedicată disciplinelor predate (edmodo.com).

În 2012, materialele didactice ale cursului *Combustibil și lubrifianți* au fost publicate și într-o formulă blended-learning pe platforma educațională DidaTec ([www.didatec.ro](http://www.didatec.ro)). Fiecare curs, în total fiind 14 la această disciplină, este prezentat în PowerPoint, iar suportul de curs, în format PDF atașat cursurilor, este completat cu un test de autoevaluare de tip chestionar. Lucrările de laborator sunt structurate pe următoarele părți: elemente teoretice, mod de lucru, 2-3 activități individuale și de grup, discuții în grupul de studenți și cu cadrul didactic privind rezultatele obținute, test de autoevaluare și test de evaluare. Fiecare lucrare conține o fișă de lucru și este însoțită de tutoriale video. Publicate în prima fază în format electronic pe CD și format tipărit, datorită metodelor de predare utilizate, a metodelor de evaluare transparente, a formei de prezentare și accesibilitatea materialelor didactice, lucrările de laborator s-au bucurat de aprecieri pozitive din partea studenților de la specializările Autovehicule rutiere și Ingineria transporturilor și a traficului. Pentru disciplina de *Teoria sistemelor și automatizări* am elaborat un format similar, adăugând și un test online opțional după predarea fiecărui curs, a căror rezultate au fost integrate în nota de la evaluarea finală.

Intenționez ca în următorii ani, împreună cu colaboratorii mei, să elaborez materiale didactice în format similar pentru toate disciplinele predate.

#### ***OD5. Dezvoltarea și perfecționarea aptitudinilor practice***

Sunt adeptul îmbinării armonioase a cunoștințelor teoretice cu cele practice. Astfel, am profitat totdeauna de ocaziile ivite pentru a participa la stagii de cercetare sau documentare, atât în țară cât și în străinătate. Colaborez cu compania Lukoil – Laboratorul de încercări din Cluj-Napoca, ICIA – Institutul de Cercetări pentru Instrumentație Analitică din Cluj-Napoca, ASG Analytik-Service Gesellschaft, Neusäss – Germania, MOL PLC Downstream Development – Ungaria. Aceste colaborări mi-au fost de mare ajutor în realizarea materialelor didactice. Doresc ca în viitor să mențin aceste colaborări, să le intensific și să le extind. Sunt invitat constant pentru efectuarea de stagii de documentare în cadrul laboratoarelor de testare pentru autovehicule din cadrul firmei JAFI-AUTOKUT – Budapesta, unde pot să mă documentez pentru realizarea unor materiale didactice la disciplina *Încercarea autovehiculelor*.

#### ***OD6. Colaborare cu alte universități și cu mediul economic***

Consider că experiența altor specialiști în domeniul disciplinelor predate trebuie împărtășită studenților. În acest sens, am invitat specialiști din cadrul Universității Széchenyi István din Győr, Ungaria, unde am fost invitat la rândul meu, pentru a ține prelegeri în domeniul biocombustibililor studenților de la secția de Autovehicule rutiere.

Intenționez să intensific aceste colaborări în viitor, invitând specialiști din universități și din mediul economic.

O altă latură a acestor colaborări este asigurarea unor stagii de documentare în țară și în străinătate pentru studenții care elaborează proiectele de licență. Până în prezent, am facilitat accesul la resurse de documentare și stagii de cercetare în străinătate în scopul elaborării proiectelor de diplomă pentru opt studenți de la specializarea Autovehicule rutiere. Pentru anul universitar 2013-2014 am asigurat un stagiul de documentare pentru doi studenți la S.C. MPL ENGINEERING SRL din Satu Mare (specializată în proiectare) și pentru un student la JAFI-AUTOKUT Budapesta (specializată în încercarea autovehiculelor).

## **B. Propunere de dezvoltare a carierei universitare din punctul de vedere al activităților de cercetare științifică**

Pentru dezvoltarea carierei din punctul de vedere al activităților de cercetare științifică mi-am propus atingerea unor obiective concrete, defalcate pe obiecte pe termen scurt (0-3 ani) și permanente.

Obiectivele principale propuse *pe termen scurt* sunt:

- participarea, în continuare, la conferințe naționale și internaționale în țară și în străinătate, împreună cu studenții îndrumați;
- continuarea publicării rezultatelor științifice în reviste cu vizibilitate ridicată, indexate WoS sau Scopus, alături de studenții doctoranzi îndrumați;
- publicarea de cărți și capitole în cărți la edituri cu vizibilitate internațională, recunoscute în mediile academice;
- atragerea de fonduri pentru cercetare prin proiecte de cercetare cu teme de actualitate axate pe domeniile prioritare;
- cooptarea și implicarea studenților în activitățile de cercetare și formarea unei echipe de cercetare competentă, implicarea tinerilor în activitățile de management de proiect;
- transferul cunoștințelor acumulate în cercetare și managementul acestora către studenții masteranzi și doctoranzi;
- elaborarea unor teme de cercetare concrete pe domeniile vizate și inițierea de proiecte de cercetare naționale și integrarea în echipele de cercetare internaționale.

Obiectivele *permanente* sunt următoarele:

- formularea de teme de cercetare în scopul admiterii a cel puțin un doctorand anual;
- dezvoltarea colaborării cu alte universități din țară și din străinătate în scopul rezolvării unor teme de cercetare;
- intensificarea cooperării cu mediul economic pentru o mai bună cunoaștere a nevoilor reale ale economiei;
- colaborarea cu mediul economic în scopul identificării unor nevoi reale ale economiei care pretind un sprijin științific susținut;
- creșterea vizibilității personale, a Departamentului Autovehicule Rutiere și Transporturi și a Universității Tehnice din Cluj-Napoca pe plan național și internațional;
- contribuirea la creșterea vizibilității revistelor științifice în al cărui comitet editorial fac parte (Periodica Polytechnica

Transportation Engineering – indexat SCOPUS; Múszaki Szemle – indexat Google Scholar).

### ***OC1. Consolidarea grupurilor de cercetare***

Pentru a contribui la atingerea obiectivului OC4, prin temele de cercetare intenționez cooptarea în echipele de cercetare a studenților masteranzi, doctoranzilor și cercetătorilor cu experiență. De asemenea, intenționez internaționalizarea cercetărilor prin cooperarea cu grupurile de cercetare cu teme similare din străinătate.

### ***OC2. Consolidarea carierei de cercetare ca lider al echipelor de cercetare***

Prin activitățile desfășurate în cadrul proiectelor de cercetare în calitate de director sau membru al echipelor de cercetare am acumulat o serie de cunoștințe, competențe și experiență care mi-au permis obținerea Certificatului de Manager de proiect, No. 004261 din 11.02.2010, eliberat de SC RoMarketing SRL, recunoscut la nivel național și internațional.

Cu finanțările obținute prin proiectele câștigate prin competiție și colaborări cu mediul economic am realizat un laborator, dotat cu aparatură, echipamente și mobilier în valoare totală de cca. 210.000 RON. La ora actuală, acest laborator deservește atât activități de cercetare, cât și activități didactice la disciplinele de *Combustibili și lubrifianți, Încercarea autovehiculelor și Materiale biodegradabile, lubrifianți și combustibili ecologici pentru automobile.*

În scopul susținerii materiale și financiare m-am integrat, în calitate de membru, în echipele de cercetare a trei propuneri de proiecte de tip PN-III-P2-2.1-PED-2019.

Am depus o aplicație pentru o bursă de cercetare la Academia de Științe din Ungaria, la care rezultatul evaluării este așteptat la începutul anului viitor.

### ***OC3. Creșterea vizibilității, prestigiului și a recunoașterii științifice pe plan național și internațional***

Societatea științifică din România aspiră la o recunoaștere mai largă a rezultatelor obținute în urma cercetărilor. Pentru creșterea vizibilității și a prestigiului consider că este indispensabilă, printre altele, diseminarea rezultatelor cercetării în reviste din fluxul științific internațional principal, recunoscute pentru calitatea articolelor publicate. Recunoașterea rezultatelor cercetării poate fi măsurată prin numărul de citări al publicațiilor, prin invitațiile pentru recenzarea articolelor științifice, participarea la activitățile editoriale ale revistelor de specialitate și a conferințelor organizate în domeniu etc.

În acest sens, doresc să public rezultatele cercetărilor în revistele de specialitate care pot asigura creșterea vizibilității și a prestigiului în domeniile de cercetare asumate (*Fuel, Fuel Processing Technology, Energy Conversion and Management, Energy and Fuels, Lubrication Science, Transportation Research Part C* etc.).

De asemenea, doresc să intensific activitățile desfășurate în serviciul comunității științifice prin acceptarea mai multor invitații pentru recenzarea articolelor trimise la revistele și conferințele de specialitate din țară și străinătate, pentru a-mi aduce contribuția la cărțile editate și la participarea activă în cadrul comitetelor științifice ale conferințelor de specialitate etc. Astfel:

- sunt membru în Comitetul științific al revistei Periodica Polytechnica, Series Transportation Engineering (Budapest University of Technology and Economics, ISSN: 1587-3811, redactor șef Dr. Tamás PÉTER);
- sunt membru în Comitetul editorial al revistei Műszaki Szemle (Technical Review), ISSN 1454-0746;
- fac parte din comitetul științific al Conferinței Internaționale de Inginerie Mecanică (edițiile 2009-2019), iar din 2018 sunt președintele conferinței;
- am fost numit în Panelul extern de evaluare a patru teze de doctorat, susținute la Anna University, India.

#### ***OC4. Specializare prin cercetare științifică***

Doresc să dezvolt activitatea de cercetare în domeniul combustibililor și lubrifianților pentru automobile, dar în același timp să-mi asum alte domenii noi, cum sunt materialele de origine biogenă pentru automobile. În această ordine de idei, mi-am propus abordarea următoarelor teme de cercetare:

##### ***T\_OC4.1. Elaborarea unor modele pentru descrierea proprietăților fizice ale amestecurilor de combustibili pentru automobile***

**Problematica:** Combustibilii pentru automobile pot conține cantități semnificative de bio-componenți. Astfel, motorinele comerciale pot conține până la 7%(v/v) biodiesel – esteri metilici ai acizilor grași (EN 590), iar benzinele comerciale pot include maxim 10% (v/v) etanol, inclusiv bioetanol (EN 228). În SUA standardul ASTM D7467 reglementează cerințele calitative impuse amestecurilor motorină-biodiesel, cu un conținut de biodiesel cuprins între 6 și 20% (v/v) esteri metilici sau etilici ai acizilor grași. Deși în Europa nu este standardizat, amestecul de 85% bioetanol și 15% benzină, E85 este comercializat în multe țări din UE.



Utilizarea biocombustibililor în sectorul de transport presupune și cercetarea teoretică a proceselor de fabricare, depozitare, transport și distribuire, precum și posibilitatea modelării și simulării proceselor termodinamice ce au loc în motoarele cu ardere internă în scopul optimizării parametrilor economici și de poluare ai acestora. Acest lucru impune, printre altele, și *descrierea analitică a proprietăților amestecurilor de combustibili în funcție de compoziție, temperatură și presiune*. Preocupările în acest domeniu sunt foarte vaste, însă ele nu acoperă nici pe departe întreaga gamă de amestecuri de combustibili și proprietățile acestora.

Dificultatea principală în modelarea proprietăților amestecurilor de combustibili constă în natura fizico-chimică diferită ale acestora. De exemplu, motorina și benzina sunt amestecuri a sute de hidrocarburi diferiți, biodieselul are în componență 7-14 metil ester ai acizilor grași a căror concentrații depinde de tipul materiei prime, iar etanolul este o substanță pură. Biodieselul are foarte bune proprietăți de ungere, pe când etanolul este un solvent. Există diferențe semnificative și în ceea ce privește densitatea, viscozitatea, tensiunea superficială, presiunea de vapori, căldura de vaporizare, temperatura de inflamabilitate, cifra cetanică, conținutul de oxigen etc. Din acest motiv, în cele mai multe cazuri o proprietate a unui amestec nu poate fi asimilată prin simpla însumare a proprietăților constituenților ponderată cu concentrațiile acestora din amestec.

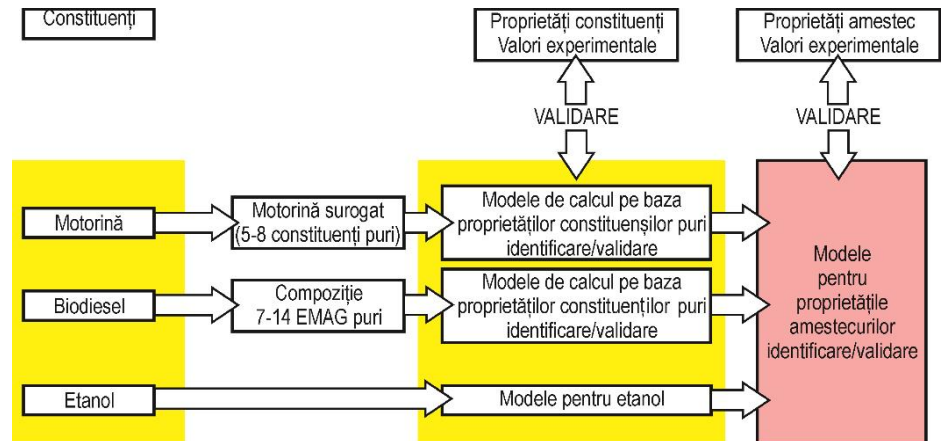
Modelarea proprietăților unor combustibili și ale amestecurilor acestora\*

| Proprietatea                               | M   | B   | E   | M+B | M+E | B+E | M+B+E |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Densitatea                                 | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | ++**  |
| Viscozitatea                               | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | ++**  |
| Tensiunea superficială                     | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | -     |
| Presiunea de vapori                        | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | -     |
| Conductivitatea termică                    | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | -     |
| Căldura latentă de vaporizare              | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | -     |
| Cifra cetanică                             | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | -     |
| Temperatura de inflamabilitate             | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | -     |
| Proprietăți de curgere la rece             | +++ | +++ | +++ | ++  | +   | +   | -     |
| Parametrii jetului de combustibil injectat | +++ | +++ | +++ | ++  | ++  | ++  | ++    |
| Performanțele motorului                    | +++ | +++ | +++ | ++  | ++  | ++  | ++    |
| Poluarea mediului ambiant                  | +++ | +++ | +++ | ++  | ++  | ++  | ++    |

\*) "+++"- cercetări foarte avansate, necesită doar actualizare; "++" - cercetări avansate; "+" - necesită cercetări adiționale semnificative; "-" - nu există rezultate publicate.  
M - motorină; B - biodiesel; E - etanol;

\*\*) Contribuție proprie

Pornind de la faptul că proprietățile unui amestec sunt determinate de proprietățile constituenților și a ponderii acestora în amestec, modelarea proprietăților constituenților și identificarea unor reguli de compunere ale acestora este una din căile posibile de urmat.



Metodologia utilizată pentru modelarea proprietăților amestecurilor de combustibili

**Preocupări precedente:** Legat de modelarea proprietăților combustibililor am publicat două articole în reviste (B1, B9-B11, B17) și la conferințe internaționale (B2-B8, B13-B16, B18-B20, B23-B25). În prezent colaborez cu specialiști din Ungaria (Ákos Bereczky – Budapest University of Technology and Economics, Department of Energy Engineering; Máté Zöldy – DSD Product Development, MOL Hungarian Oil and Gas Public Limited Company) pentru publicarea rezultatelor obținute privind proprietățile amestecurilor ternare de biodiesel fabricat din ulei de rapiță, soia și Jatropha cu motorină și bioetanol.

**Obiective propuse legate de temă:**

- 1) Elaborarea unor modele matematice care să descrie variația proprietăților termo-fizice și de exploatare ale amestecurilor de motorină și biocombustibil (motorină-etanol, biodiesel-etanol și motorină-biodiesel-etanol) în funcție de temperatura și compoziția acestora.
- 2) Furnizarea de modele care să descrie variația proprietăților în domeniul 0 °C și temperatura critică, precum și a valorilor tabulare ale acestora în scopul implementării în aplicațiile specifice modelării și simulării proceselor termodinamice. Proprietățile termo-fizice vizate în cadrul acestui obiectiv sunt: densitatea, viscozitatea, tensiunea superficială, modulul de

elasticitate, presiunea de vapori, puterea calorică, conductivitatea termică, căldura latentă de vaporizare.

- 3) Elaborarea unor modele pentru descrierea proprietăților de exploatare ale acestor amestecuri în scopul optimizării proceselor de fabricare, stocare, distribuire și utilizare. Proprietățile de exploatare urmărite în cadrul acestui obiectiv sunt: stabilitatea termică la oxidare și la depozitare, temperatura de inflamabilitate, proprietăți de curgere la rece (temperatura de tulburare, temperatura limită de filtrabilitate și temperatura de curgere).

#### *T\_OC4.2. Dezvoltarea unor lubrifianți ecologici*

**Problematica:** Lubrifianții pentru automobile exercită o presiune ecologică semnificativă asupra mediului prin acțiunile întreprinse în diferite faze ale ciclului de viață al acestora.

*Procesul de fabricare* poluează mediul în cadrul etapelor de obținere a materiilor prime (țiței, gaz), datorită zăcămintelor extrase din pământ prin procesele care afectează cadrul natural, poluează solul, apele și aerul; obținerea uleiurilor de bază presupune prelucrarea fizică și chimică a materiilor prime, prin procese energofage; energia necesară procesării materiilor prime se obține de regulă prin arderea unor produse secundare.

Pe durata *transportului, depozitării și distribuirii* lubrifianții prezintă un risc de poluarea mediului, asemănător combustibililor. De asemenea, ambalajele în care lubrifianții sunt distribuiți și comercializați, devin surse de poluare și prezintă riscuri similare lubrifianților pe care le-au conținut. Pe durata *utilizării*, lubrifianții contribuie la poluarea mediului (aerul, solul și apa) prin următoarele căi: parte din uleiurile de ungere ajung în camera de ardere a motoarelor, unde ard – de regulă incomplet, iar produsele de ardere pot ajunge împreună cu gazele de evacuare în atmosferă; fracții mai volatile ale lubrifianților pot ajunge în aerul atmosferic datorită pierderilor prin evaporare; în cazul unor neetanșeități ale sistemelor de ungere sau datorită deteriorării cartierelor și carcaselor, lubrifianții ajung în mediul înconjurător. *După utilizare*, lubrifianții prezintă o toxicitate ridicată, iar reciclarea sau eliminarea lor presupun procese costisitoare, cu risc ridicat privind poluarea mediului înconjurător.

Lubrifianții moderni trebuie să fie prietenoși cu mediul ambiant (adaptați mediului), proprietate ce poate fi caracterizată prin toxicitate nulă sau redusă, biodegradabilitate completă sau ridicată, conținut mare de substanțe regenerabile și bioacumulare nulă sau redusă.

Uleiurile vegetale răspund parțial la aceste cerințe, calitățile de ungere excelente ale acestora fiind cunoscute de foarte mult timp (practic, până la mijlocul secolului al XIX-lea aproape toți lubrifianții utilizați au avut la origine surse naturale ca uleiurile vegetale și grăsimile animale), însă datorită proprietăților precare de curgere la rece, a tendinței de formare a depunerilor și a îmbătrânirii rapide, utilizarea la scară largă a acestora ca lubrifianți pentru ungerea motoarelor termice nu a fost posibilă. În schimb, uleiurile vegetale au fost și sunt utilizate ca aditivi pentru ameliorarea capacității de lubrifiere a uleiurilor de ungere pentru motoare și transmisii mecanice, însă de obicei nu au depășit 20% din compoziția volumetrică a acestora.

Din producția anuală de aproximativ 100 milioane de tone de ulei vegetal, sub 1% este utilizat la fabricarea lubrifianților pentru aplicații diverse, mai ales în industria alimentară.

Uleiurile vegetale sunt utilizate la ora actuală pentru sisteme de ungere cu pierdere totală, în principal la motoare cu ardere internă în doi timpi, însă există și aplicații la motoare cu ardere internă în patru timpi, cum este *sistemul Plantotronic* dezvoltat de firma germană *Fuchs Petrolub*, care asigură reînnoirea continuă a uleiului pentru ungere, iar o parte din acesta este adăugat combustibilului, ajungând în camera de ardere. De asemenea, uleiurile vegetale au fost testate și în sistemele de ungere clasice, inclusiv cele alimentate cu biodiesel, pierderile prin frecare reducându-se în mod substanțial.

**Preocupări precedente:** În anul universitar 2012-2013 am condus Proiectul de diplomă cu tema *Evaluarea lubrifianților destinați motoarelor în doi timpi*, lucrare care a inclus și utilizarea uleiului de rapiță. Rezultatele experimentale preliminare au arătat reducerea consumului orar de combustibil, explicat prin reducerea pierderilor prin frecare.

**Obiective propuse legate de temă:**

- 1) Identificarea posibilităților privind ameliorarea stabilității termice și la oxidare a uleiurilor vegetale prin utilizarea unor aditivi de origine biogenă.
- 2) Evaluarea proprietăților și performanțelor uleiurilor aditivate și compararea lor cu cerințele impuse uleiurilor destinate ungerii motoarelor în doi timpi.
- 3) Evaluarea posibilităților de utilizare ale uleiurilor aditivate în sistemele de ungere cu interval de înlocuire mărită.

### *T\_OC4.3. Creșterea eficienței lubrifianților prin aditivarea acestora cu nanoparticule*

**Problematica:** În jur de 33% din energia chimică a combustibilului ars în motorul cu ardere internă este consumată prin pierderile prin frecare la nivelul autovehiculului, din care 35% au loc în motorul cu ardere internă (12 % din energia chimică a combustibilului). Diminuarea frecărilor în MAI conduce la reducerea consumului de combustibil, lucru esențial în scopul atingerii limitelor de poluare din ce în ce mai severe. Frecările din MAI pot fi reduse prin utilizarea unor uleiuri cu performanțe ridicate.

Uleiurile de ungere pentru MAI sunt formate dintr-un ulei de bază sintetică sau semisintetică și un pachet de aditivi, care reprezintă cca. 30-35% v/v și este format din aditivi pentru protejarea suprafețelor (antiuzare, inhibitori ai coroziunii, detergenți, dispersanți), aditivi pentru îmbunătățirea performanțelor (reducerea temperaturii de curgere, îmbunătățirea viscozității) și aditivi pentru protecția lubrifianțului (anti-spumare, antioxidant, dezactivatori metalici).

Adăugarea în uleiurile de ungere a unor nano-particule ca dioxidul de titan, nano-diamant sau nano-grafit în concentrații reduse poate îmbunătăți proprietățile de ungere ale acestora și poate ameliora ușor proprietățile fizice.

#### **Preocupări precedente:**

Împreună cu doi colegi de la UTC-N și în colaborare cu Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Izotopice și Moleculare – INCDTIM Cluj-Napoca am cercetat efectul oxidului de titan asupra proprietăților unui ulei motor comercial. Au fost determinate proprietățile fizice principale constatând că, viscozitate și indicele de viscozitate a uleiurilor aditate au crescut ușor. Rezultatele obținute pe standul tribologic au pus în evidență o reducere a coeficientului de frecare.

De asemenea, am realizat o serie de încercări privind efectele aditivilor de nano-diamant și nano-grafit asupra pierderilor prin frecare într-un motor Honda GX 160, măsurând consumul de combustibil la mersul în gol. A fost constatată o reducere semnificativă a consumului de combustibil, indicând reducerea pierderilor prin frecare.

Rezultatele acestor cercetări preliminare au fost publicate în B26 și B27.

#### **Obiective propuse legate de temă:**

- 1) Identificarea concentrațiilor optime de aditivi, astfel încât efectul lor să fie maxim, iar suspensiile de ulei-nano-aditivi să se păstreze stabile.

- 2) Identificarea efectelor aditivilor asupra pierderilor prin frecare pe motorul încărcat.
- 3) Evidențierea efectelor asupra uzurilor din motorul cu ardere internă.

#### *T\_OC4.4. Algoritmizarea unor manevre ale vehiculelor având conducere automată*

**Problematica:** În zilele noastre industria auto trece printr-o transformare profundă, caracterizată, printre altele, de creșterea nivelului de automatizare a procesului de conducere a vehiculelor, reducând rolul conducătorului auto din ce în ce mai mult cu scopul principal de a crește siguranța traficului. Obiectivul final al acestui proces este eliminarea completă a verigii celei mai slabe: conducătorul vehiculului. Atingeria obiectivului final depinde însă, de soluționarea unei diversități largi de probleme, de la aspectele tehnice la cele morale.

**Preocupări precedente:** Am studiat nivelurile diferite ale automatizării conducerii vehiculelor, estimarea efectelor acestor tehnologii noi asupra mediului și a securității traficului, importanța reglementărilor specifice și stadiul acestora, aspectele morale ale deciziilor automatizate și prognoza evoluției acestor tehnologii. Principalele concluzii ale studiilor au fost: vehiculele autonome trebuie să ia decizii rapide și corecte, uneori chiar în condiții de risc și incertitudine, ce pot include și dileme morale. Ele pot contribui la reducerea poluării mediului prin optimizarea rutelor, a stilului de conducere. De asemenea, reglementările curente sunt mult prea departe de stadiul actual al acestei tehnologii.

În acest domeniu am prezentat rezultatele cercetărilor la două conferințe internaționale (B21, B22), am condus două proiecte de diplomă având teme legate de manevrarea automată a autovehiculelor și colaborez cu Universitatea Tehnică din Budapesta pentru algoritmizarea abordării sensurilor giratorii de către vehiculele având conducerea automată.

**Obiective propuse legate de temă:**

- 1) Evaluarea metodelor de certificare a subsistemelor vehiculelor având conducere automată.
- 2) Elaborarea unor algoritmi pentru unele manevre și situații specifice, cum ar fi depășirea sau abordarea sensurilor giratorii.

## LISTA PUBLICAȚIILOR RELEVANTE PENTRU CERCETAREA ȘTIINȚIFICĂ DIN TEZĂ

### Cărți și capitole în cărți

- A.1. **Barabás, I.** *Lubrifianti pentru automobile – proprietăți, performanțe, evaluare.* Cluj-Napoca, Editura UT PRESS, 2013. ISBN 978-973-662-866-5, 186 pagini.
- A.2. **Barabás, I.** *Combustibili și lubrifianti: îndrumător pentru lucrările de laborator.* Cluj-Napoca, Editura UT PRESS, 2013. ISBN 978-973-662-822-1, 120 pagini.
- A.3. **Barabás, I.; Todoruț, A.** *Combustibili pentru automobile – testare, utilizare, evaluare.* Cluj-Napoca, Editura UT PRESS, 2010. ISBN 978-973-662-595-4, 266 pagini.
- A.4. **Barabás, I.; Zöldy, M; Todoruț, A.** Chapter 21. The potential of biodiesel-petrodiesel-bioethanol blends as an alternative fuel for compression ignition engines. In *Energy Science and Technology, Vol. 3 – Oil and Natural gas*, Houston: Studium Press LLC, 2015. ISBN: 1-62699-064-6, 30 pagini (pp. 577-606).
- A.5. **Barabás, I.; Todoruț, A.** Chapter 1. Biodiesel quality, standards, and properties. In *Montero, D.G. ed. Biodiesel- Quality, Emissions and By-products.* Rijeka: InTech Publisher, 2011, ISBN 978-953-307-784-0, 27 pagini.
- A.6. **Barabás, I.; Todoruț, A.** Chapter 14. Utilization of biodiesel-diesel-ethanol blends in CI engine. In *Montero, D.G. ed. Biodiesel- Quality, Emissions and By-products.* Rijeka: InTech Publisher, 2011, ISBN 978-953-307-784-0, 21 pagini.

### Articole publicate în reviste sau apărute în lucrări ale principalelor conferințe internaționale de specialitate:

- B.1. **Barabás, I.; Todoruț, A.** (2011), *Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel-diesel-bioethanol blends.* *Energy & Fuels*, ISSN 0887-0624, 25(12), pp. 5767-5774.
- B.2. **Barabás, I.; Todoruț, A.** *Studies on compatible fuel properties of biodiesel-diesel fuel-bioethanol blends for fuel use in compression ignition engines.* In *25<sup>th</sup> MicroCAD International Scientific Conference*, University of Miskolc, Hungary, 31 martie – 1 aprilie 2011, ISBN 978-963-661-954-1, pp. 15-20.
- B.3. **Barabás, I.; Todoruț, A.; Bălcău, M.** *Fitting biodiesel-diesel-bioethanol blends to CI engines.* In *The 10<sup>th</sup> International Automotive Congress –*

*Automotive Engineering and Environment* – CAR, Pitești, România, 2-4 noiembrie 2011, Universitatea din Pitești, ISSN 1453-1100, Paper Identification Number: CAR 2011\_1292 (Indexat FISITA).

- B.4. **Barabás, I.**; Todoruț, A. *Key fuel properties of biodiesel-diesel fuel-ethanol blends*. In *SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting*, Florence, Italy, 15 iunie 2009, (CD ROM). Section: Fuels and Energy Sources Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA, ISSN 0148-7191, SAE Technical Paper 2009-01-1810 (Indexat SAE International, Scopus).
- B.5. **Barabás, I.**; Todoruț, A.; Băldean, D.; Suci, F. *Key fuel properties of biodiesel-diesel-bioethanol blends which influence the spray process*. In *12<sup>th</sup> EAEC European Automotive Congress, Bratislava – EAEC 2009*, 29 iunie – 1 iulie 2009, Slovak Society of Automotive Engineers, Bratislava, ISBN: 978-80-969243-8-7, (CD ROM). Paper Identification Number: E2009-02-013.
- B.6. **Barabás, I.**; Todoruț, A.; Suci, F.; Băldean, D. *Viscosity of biodiesel-diesel-bioethanol blends*. In *22<sup>th</sup> MicroCAD International Scientific Conference*, University of Miskolc, Hungary, 20-21 martie 2008, section: Non-Conventional Energy Resources-Research and Utilization, Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centruma, ISBN 978-963-661-814-8, pp. 77-82.
- B.7. **Barabás, I.**; Brânzaș, P.; Todoruț, A. (2007), *Researches aiming partial substitution of diesel fuels for diesel engine with biodiesel-diesel-bioethanol mixtures*. *Acta Technica Napocensis*, Series: Applied Mathematics and Mechanics (International Congress Automotive, Environment and Farm Machinery AMMA 2007, Cluj-Napoca 11-13 Octombrie 2007), ISSN 1221-5872, 2007(50-V), pp. 349-352.
- B.8. **Barabás, I.**, Todoruț, A., & Cordoș, N. (2016). *An artificial neural network approach to estimate the viscosity of biodiesel-diesel-ethanol blends*. *ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: APPLIED MATHEMATICS, MECHANICS, And ENGINEERING*, 59(3). (IndexCopernicus™ International)
- B.9. **Barabás, I.** (2015), *Liquid densities and excess molar volumes of ethanol + biodiesel binary system between the temperatures 273.15 K and 333.15 K*. *Journal of Molecular Liquids*, ISSN 0167-7322.
- B.10. **Barabás, I.** (2013), *Predicting the temperature dependent density of biodiesel-diesel-bioethanol blends*. *Fuel*, ISSN 0016-2361, 109(7), pp. 563-574.
- B.11. **Barabás, I.**; Zöldy, M.; Todoruț, I.-A. *Biodízel-gázolaj-bioetanol keverékek fontosabb tulajdonságainak modellezése. (Modeling the Key Fuel Properties of Biodiesel-Diesel Fuel-Bioethanol Blends*. *Műszaki Szemle*, no. 67, p. 10-16, 2016. ISSN 2458-0201.



- B.12. **Barabás, I.** *Predicting the density of fuel blends (Tüzelőanyag-keverékek sűrűségének becslése).* In *20<sup>th</sup> International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT*, Cluj-Napoca, România, 19-22 aprilie 2012, Vol. 20, Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, Cluj-Napoca, ISSN 2067-1267, pp. 9-13.
- B.13. **Barabás, I.** *Predicting the viscosity of fuel blends.* In *19<sup>th</sup> International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT*, Şumuleu Ciuc, România, 28 aprilie – 1 mai 2011, Vol. 19, Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, Cluj-Napoca, ISSN 2068-1267, pp. 10-14.
- B.14. **Barabás, I.**; Todoruţ, I.A.; Kocsis, L.B.; Băldean, D.L. (2010), *Automated test bench for study of the fuel injection process.* Solid State Phenomena (Robotics and Automation Systems), ISSN 1012-0394, 166-167 pp. 39-44. (SCOPUS).
- B.15. **Barabás, I.**; Todoruţ, A.; Băldean, D.; Suciu, F. *Experimental study on the spray characteristics for diesel fuel and biodiesel-diesel fuel-bioethanol blends.* In *12<sup>th</sup> EAEC European Automotive Congress, Bratislava – EAEC 2009*, Bratislava, Slovak Republic, 29 iunie – 1 iulie 2009, Slovak Society of Automotive Engineers, Bratislava, ISBN: 978-80-969243-8-7, (CD ROM). Paper Identification Number: E2009-02-009.
- B.16. **Barabás, I.**; Todoruţ, A. *Study of biofuel spray images.* In *15<sup>th</sup> International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT*, Cluj-Napoca, România, 2007, Vol. 15, Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, Cluj-Napoca, ISSN 1454-0746, pp. 45-48.
- B.17. **Barabás, I.**; Todoruţ, A.; Băldean, D. (2010), *Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel–biodiesel–bioethanol blends.* Fuel, ISSN 0016-2361, 89(12), pp. 3827-3832.
- B.18. **Barabás, I.**; Todoruţ, A. *Chassis dynamometer and road test performances of biodiesel-diesel fuel-bioethanol blend.* In *SAE Powertrains Fuels and Lubricants Meeting*, San Diego, 25 octombrie 2010, (CD ROM). Section: Fuels and Energy Sources, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA, ISSN 0148-7191, SAE Technical Paper 2010-01-2139-FFL215 (Indexat SAE International, Scopus).
- B.19. **Barabás, I.**; Todoruţ, A.; Kocsis, L. *Research on diesel fuel-biodiesel-ethanol blends.* In *18<sup>th</sup> International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT*, Baia Mare, România, 22-25 aprilie 2010, Vol. 18, Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, Cluj-Napoca, ISSN 2068-1267, pp. 11-16. (Keynote Lecture).
- B.20. **Barabás, I.**; Todoruţ, A. *Possibilities of using biodiesel–diesel–bioethanol blends as fuel for internal combustion engines.* In *16<sup>th</sup> International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT*, Braşov, România, 2008, Vol. 16, Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, Cluj-Napoca, ISSN 1454-0746, pp. 42-45.

- B.21. **Barabás, I.**, Todoruț, A., Cordoș, N., Molea, A. (2017): Current challenges in autonomous driving. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 252 012096. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/252/1/012096>
- B.22. **Barabás I.** (2017) Az intelligens gépjárművektől a vezető nélküli autókig. (De la vehicule inteligente la automobile fără conducător) The 25th International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT. 27-30 aprilie, Cluj-Napoca. Vol. 24, Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, Cluj-Napoca, ISSN 2068-1267 (prezentare în plen).
- B.23. Molea, A., Visuian, P., **Barabás, I.**, Suciu, R.C., Burnete, N.V. (2017): Key fuel properties and engine performances of diesel-ethanol blends, using tetrahydrofuran as surfactant additive. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 252 012077. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/252/1/012077>
- B.24. Burnete, N.V.; Filip, N.; **Barabás, I.** Amestecurile motorină-etanol și utilizarea lor în motoarele diesel. Ingineria automobilului, Societatea Inginerilor de Automobile din Romania, Vol. 36, September, pp. 12-20, 2015. (Copernicus)
- B.25. **Barabás I.**, Molea A., Suciu R. (2019) Fuel Properties of Diesel-Ethanol-Tetrahydrofuran Blends: Experimental and Theoretical Approaches. In: Burnete N., Varga B. (eds) Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018). Proceedings in Automotive Engineering. Springer, First Online: 30 September 2018, Print ISBN 978-3-319-94408-1, Series Print ISSN 2524-7778, Online ISBN 978-3-319-94409-8, Series Online ISSN 2524-7786.
- B.26. Moldovanu, D., Molea. A., **Barabás, I.** (2019) Nano-diamond and nano-graphite testing as additive for an engine lubrication oil. The 14th International Conference on Tribology - ROTRIB'19, September 19-21, 2019 – Cluj Napoca, ROMANIA.
- B.27. Molea A., **Barabás I.**, Suciu R. (2018) Influence of TiO<sub>2</sub> Nano-particles Content on Physicochemical and Tribological Properties of Lubricant Oil. In: Burnete N., Varga B. (eds) Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018). Proceedings in Automotive Engineering. Springer, First Online: 30 September 2018, Print ISBN 978-3-319-94408-1, Series Print ISSN 2524-7778, Online ISBN 978-3-319-94409-8, Series Online ISSN 2524-7786.

## BIBLIOGRAFIE

1. \*\*\*. *About the Automobile Industry*. 2019 [cited 2019 08.03]; Available from: <https://www.acea.be/automobile-industry>.
2. \*\*\*. *Industria auto reprezintă o bijuterie pentru economia românească*. 2019 [cited 2019 08.23]; Available from: [www.wall-street.ro](http://www.wall-street.ro).
3. \*\*\*. *World Vehicles in use*. 2019 [cited 2019 08.03]; Available from: <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use>.
4. \*\*\*. *The Automobile Industry - Pocket Guide 2019-2020*. 2019: European Automobile Manufacturers' Association.
5. \*\*\*. *Share of Alternatively-powered Vehicles in the EU Fleet*. 2019 [cited 2019 08.20]; Available from: <https://www.acea.be/>.
6. \*\*\*. *Plug-in electric vehicles in Europe*. 2019 [cited 2019 16.09]; Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in\\_electric\\_vehicles\\_in\\_Europe](https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicles_in_Europe).
7. Niestadt, M. and A. Bjørnåvold, *Electric road vehicles in the European Union - Trends, impacts and policies*. 2019, European Parliamentary Research Service.
8. Roland, I. *Europe Plug-in Sales*. 2019 [cited 2019 08.25]; 08.25]. Available from: <http://www.ev-volumes.com/>.
9. Buchal, C., H.-D. Karl, and H.-W. Sinn, *Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO<sub>2</sub> -Bilanz?* ifo Schnelldienst, 2019. **72**(8): p. 14.
10. Viktor, N., *Ez kiveri a biztosítékot: az elektromos autó jobban szennyez, mint a dízel?*, in *Portofolio*. 2019: Budapest.
11. Günther, S. and L. Christoph, *Elektrofahrzeuge mit bester CO<sub>2</sub>-Bilanz*. 2019, Volkswagen Group: Wolfsburg.
12. Schmidt, B. *Using diesel to charge EVs in the outback is greener than you think*. 2018 [cited 2019 20.08]; Available from: <https://thedriven.io/2018/12/14/diesel-charge-evs-remote-locations-greener-than-you-think/>.
13. \*\*\*. *Oil and petroleum products - a statistical overview*. 2019 [cited 2019 08.27]; Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat>.
14. \*\*\*. *Passenger Car Fleet by Fuel Type*. 2019, ACEA.
15. Clifford, C.B., *Alternative Fuels from Biomass Sources*. PennState College of Earth and Mineral Sciences - e-Education Institute.
16. \*\*\*. *Renewable energy statistics 2019* [cited 2019 09.17]; Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat>.

17. Brodnitz, B., *EU to restrict palm-oil-derived biodiesel*. 2019, McKeany-Flavell.
18. Chen, H., et al., *Study of oxygenated biomass fuel blends on a diesel engine*. *Fuel*, 2008. **87**(15–16): p. 3462-3468.
19. Guarieiro, L.L.N., et al., *Emission profile of 18 carbonyl compounds, CO, CO<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub> emitted by a diesel engine fuelled with diesel and ternary blends containing diesel, ethanol and biodiesel or vegetable oils*. *Atmospheric Environment*, 2009. **43**(17): p. 2754-2761.
20. Hulwan, D.B. and S.V. Joshi, *Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content*. *Applied Energy*, 2011. **88**(12): p. 5042-5055.
21. Qi, D.H., et al., *Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine*. *Renewable Energy*, 2011. **36**(4): p. 1252-1258.
22. Lebedevas, S., et al., *Usage of fuel mixtures containing ethanol and rapeseed oil methyl esters in a diesel engine*. *Energy & Fuels*, 2008. **23**(1): p. 217-223.
23. Lebedevas, S., et al., *Investigation of the Characteristics of Multicomponent Biodiesel Fuel (D–FAME–E) for Practical Use in Lithuania*. *Energy & Fuels*, 2009. **24**(2): p. 1365-1373.
24. Kwanchareon, P., A. Luengnaruemitchai, and S. Jai-In, *Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine*. *Fuel*, 2007. **86**(7–8): p. 1053-1061.
25. Chotwichien, A., A. Luengnaruemitchai, and S. Jai-In, *Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol–diesel and butanol–diesel blends*. *Fuel*, 2009. **88**(9): p. 1618-1624.
26. Pang, X., et al., *Characteristics of carbonyl compounds emission from a diesel-engine using biodiesel–ethanol–diesel as fuel*. *Atmospheric Environment*, 2006. **40**(36): p. 7057-7065.
27. Randazzo, M.L. and J.R. Sodr , *Cold start and fuel consumption of a vehicle fuelled with blends of diesel oil–soybean biodiesel–ethanol*. *Fuel*, 2011. **90**(11): p. 3291-3294.
28. Shi, X., et al., *Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel–diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine*. *Atmospheric Environment*, 2006. **40**(14): p. 2567-2574.
29. Yaws, C.L., *Thermophysical properties of chemicals and hydrocarbons*. 2008, Norwich, NY: William Andrew.

30. Pratas, M.J., et al., *Biodiesel density: experimental measurements and prediction models*. Energy & Fuels, 2011. **25**(5): p. 2333-2340.
31. Nita, I., S. Geacai, and O. Iulian, *Measurements and correlations of physico-chemical properties to composition of pseudo-binary mixtures with biodiesel*. Renewable Energy, 2011. **36**(12): p. 3417-3423.
32. Ismail, H.M., et al., *Development of thermophysical and transport properties for the CFD simulations of in-cylinder biodiesel spray combustion*. Energy & Fuels, 2012. **26**(8): p. 4857-4870.
33. Alptekin, E. and M. Canakci, *Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends*. Renewable Energy, 2008. **33**(12): p. 2623-2630.
34. Tesfa, B., et al., *Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines*. Renewable Energy, 2010. **35**(12): p. 2752-2760.
35. Lapuerta, M., J. Rodríguez-Fernández, and O. Armas, *Correlation for the estimation of the density of fatty acid esters fuels and its implications. A proposed biodiesel cetane index*. Chemistry and Physics of Lipids, 2010. **163**(7): p. 720-727.
36. Tziourtzioumis, D., et al., *Experimental investigation of the effect of a B70 biodiesel blend on a common-rail passenger car diesel engine*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2009. **223**(5): p. 685-701.
37. Ramírez-Verduzco, L.F., J.E. Rodríguez-Rodríguez, and A. del Rayo Jaramillo-Jacob, *Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition*. Fuel, 2012. **91**(1): p. 102-111.
38. Veny, H., et al., *Density of *Jatropha curcas* seed oil and its methyl esters: measurement and estimations*. International Journal of Thermophysics, 2009. **30**(2): p. 529-541.
39. Classen, T. and K. Sahner, *Trends in automotive exhaust gas sensing*, in *SENSOR+TEST Conferences 2011*, S. Proceedings, Editor. 2011, AMA Association for Sensor Technology: Nürnberg. p. 554-556.
40. Pratas, M.J., et al., *Densities and viscosities of fatty acid methyl and ethyl esters*. Journal of Chemical & Engineering Data, 2010. **55**(9): p. 3983-3990.
41. Pratas, M.J., et al., *Densities and viscosities of minority fatty acid methyl and ethyl esters present in biodiesel*. Journal of Chemical & Engineering Data, 2011. **56**(5): p. 2175-2180.

42. Benjumea, P., J. Agudelo, and A. Agudelo, *Basic properties of palm oil biodiesel–diesel blends*. Fuel, 2008. **87**(10–11): p. 2069-2075.
43. Tat, M. and J. Van Gerpen, *The specific gravity of biodiesel and its blends with diesel fuel*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2000. **77**(2): p. 115-119.
44. Dzida, M. and W. Marczak, *Thermodynamic and acoustic properties of binary mixtures of alcohols and alkanes. II. Density and heat capacity of (ethanol + n-heptane) under elevated pressures*. The Journal of Chemical Thermodynamics, 2005. **37**(8): p. 826-836.
45. Dillon, H.E. and S.G. Penoncello, *A fundamental equation for calculation of the thermodynamic properties of ethanol*. International Journal of Thermophysics, 2004. **25**(2): p. 321-335.
46. García, M., et al., *Comparison of methods for estimating critical properties of alkyl esters and its mixtures*. Journal of Chemical & Engineering Data, 2011. **57**(1): p. 208-218.
47. Yuan, W., A.C. Hansen, and Q. Zhang, *Predicting the physical properties of biodiesel for combustion modeling*. Journal Transactions of the ASAE, 2003. **46**(6): p. 1487-1493.
48. Spencer, C.F. and R.P. Danner, *Improved equation for prediction of saturated liquid density*. Journal of Chemical & Engineering Data, 1972. **17**(2): p. 236-241.
49. Poling, B.E., J.M. Prausnitz, and J.P. O'Connell, *Properties of gases and liquids*. 5<sup>th</sup> ed. 2001, New York: McGraw-Hill.
50. Elbro, H.S., A. Fredenslund, and P. Rasmussen, *Group contribution method for the prediction of liquid densities as a function of temperature for solvents, oligomers, and polymers*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1991. **30**(12): p. 2576-2582.
51. Ihmels, E.C. and J. Gmehling, *Extension and revision of the group contribution method GCVOL for the prediction of pure compound liquid densities*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2002. **42**(2): p. 408-412.
52. Kolev, N.I., *Multiphase flow dynamics 3 – Turbulence, gas absorption and release, Diesel fuel properties*. 1<sup>st</sup> ed. 2007, Berlin: Springer-Verlag GmbH.
53. Alptekin, E. and M. Canakci, *Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends*. Fuel, 2009. **88**(1): p. 75-80.
54. Allen, C.A.W., et al., *Predicting the viscosity of biodiesel fuels from their fatty acid ester composition*. Fuel, 1999. **78**(11): p. 1319-1326.

55. Yuan, W., et al., *Temperature-dependent kinematic viscosity of selected biodiesel fuels and blends with diesel fuel*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2005. **82**(3): p. 195-199.
56. Shu, Q., et al., *Predicting the viscosity of biodiesel fuels based on the mixture topological index method*. Fuel, 2007. **86**(12-13): p. 1849-1854.
57. Knothe, G. and K.R. Steidley, *Kinematic viscosity of biodiesel components (fatty acid alkyl esters) and related compounds at low temperatures*. Fuel, 2007. **86**(16): p. 2560-2567.
58. Anand, K., A. Ranjan, and P.S. Mehta, *Estimating the Viscosity of Vegetable Oil and Biodiesel Fuels*. Energy & Fuels, 2010. **24**(1): p. 664-672.
59. Hansen, A.C., Q. Zhang, and P.W.L. Lyne, *Ethanol–diesel fuel blends -- a review*. Bioresource Technology, 2005. **96**(3): p. 277-285.
60. Nagy, G., Marsi, G., Hancsók, J. *Study on Stability of Ethanol/Diesel Fuel Blend*. Jen Hancsók. in *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6)*. 2007. Copenhagen.
61. Weerachanchai, P., C. Tangsathitkulchai, and C. Tangsathitkulchai, *Phase behaviors and fuel properties of bio-oil-diesel-alcohol blends*. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009. **3**: p. 355-361.
62. Seeton, C., *Viscosity–temperature correlation for liquids*. Tribology Letters, 2006. **22**(1): p. 67-78.
63. Reid, R.C., J.M. Prausnitz, and B.E. Poling, *The properties of gases and liquids*. 4<sup>th</sup> ed. 1987, New York: McGraw-Hill. Medium: X; Size: Pages: 741.
64. Azian, M.N., et al., *Viscosity estimation of triacylglycerols and of some vegetable oils, based on their triacylglycerol composition*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2001. **78**(10): p. 1001-1005.
65. Yuan, W., A.C. Hansen, and Q. Zhang, *Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels*. Fuel, 2009. **88**(6): p. 1120-1126.
66. Maples, R.E., *Petroleum Refinery Process Economics*. 2000, Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation.
67. Erhan, S.Z., S. Asadauskas, and A. Adhvaryu, *Correlation of viscosities of vegetable oil blends with selected esters and hydrocarbons*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2002. **79**(11): p. 1157-1161.

68. Viswanath, D.S., Ghosh, T., Prasad, D.H.L., Dutt, N.V.K., Rani, K.Y. , *Viscosity of Liquids - Theory, Estimation, Experiment, and Data*. 2007, Dordrecht, The Netherlands: Springer.
69. Rahimi, H., et al., *Diesterol: An environment-friendly IC engine fuel*. *Renewable Energy*, 2009. **34**(1): p. 335-342.
70. Chen, L., et al., *Formulation of a fuel spray SMD model at atmospheric pressure using Design of Experiments (DoE)*. *Fuel*, 2015. **153**(0): p. 355-360.
71. Zhang, G. and D.L.S. Hung, *Temporal investigations of transient fuel spray characteristics from a multi-hole injector using dimensionless analysis*. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2015. **66**(0): p. 150-159.
72. Murugesan, A., et al., *Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines--A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009. **13**(3): p. 653-662.
73. Zöldy, M., *The Effect of Bioethanol-Biodiesel-Diesel Oil Blends on Cetane Number and Viscosity*, in *6th International Colloquium Fuels*. 2007, TAE: Ostfildern, Technische Akademie Esslingen Weiterbildungszentrum, Germany.



## LISTA FIGURILOR

- Figura 1.1. Evoluția numărului de autovehicule în uz la nivel mondial, european și în România.
- Figura 1.2. Vehicule noi înmatriculate în UE în funcție de propulsie [4].
- Figura 1.3. Participarea relativă a vehiculelor având propulsie alternativă în flota UE [5].
- Figura 1.4. Evoluția numărului de vehicule electrice vândute în Uniunea Europeană [6].
- Figura 1.5. Evoluția cotei de piață a vehiculelor electrice comercializate în Uniunea Europeană [6].
- Figura 1.6. Evoluția numărului de modele de vehicule pur electrice și hibrid-electrice încărcabile [7].
- Figura 1.7. Evoluția vehiculelor hibrid-electrice reîncărcabile, noi înmatriculate în Uniunea Europeană [8].
- Figura 1.8. Stație de încărcare pentru vehicule electrice cu generator antrenat de un motor diesel [12].
- Figura 1.9. Evoluția consumului de combustibil de origine fosile în Uniunea Europeană, în milioane tone echivalent de petrol [13].
- Figura 1.10. Evoluția cotei de piață a autoturismelor cu diferite tipuri de propulsii [14].
- Figura 1.11. Evoluția producției mondiale de bioetanol din diferite materii prime [15].
- Figura 1.12. Evoluția producției mondiale de biodiesel din diferite materii prime [15].
- Figura 1.13. Evoluția producției de biocombustibili lichizi în Uniunea Europeană [16].
- Figura 1.14. Evoluția producției de ulei de rapiță și a importurilor de ulei de palmier [17].
- Figura 2.1. Curbele de distilare fracționată ale constituenților.
- Figura 2.2. Variația densității constituenților cu temperatura.
- Figura 2.3. Variația viscozității cinematice a constituenților cu temperatura.
- Figura 2.4. Aspectul amestecurilor binare biodiesel-motorină la diferite temperaturi.

- Figura 2.5. Aspectul amestecurilor binare motorină-bioetanol la diferite temperaturi.
- Figura 2.6. Aprecierea amestecurilor la preparare (20 °C).
- Figura 2.7. Aprecierea amestecurilor la temperatura de 15 °C.
- Figura 2.8. Aprecierea amestecurilor la temperatura de 0 °C.
- Figura 2.9. Aprecierea amestecurilor la temperatura de -8 °C.
- Figura 3.1. Modelarea proprietăților amestecurilor de BME.
- Figura 3.2. Variația densității constituenților cu temperatura (valori experimentale și RL).
- Figura 3.3. Distribuția EPMA în funcție de temperatură pentru modelele KMRVol și KMRTCVol.
- Figura 3.4. Estimarea erorii absolute.
- Figura 3.5. Distribuția EPMA pentru modelele dezvoltate.
- Figura 3.6. Variația viscozității biodieselului, motorinei și etanolului în funcție de temperatură.
- Figura 3.7. Structura modelului ANN pentru determinarea viscozității cinematice.
- Figura 3.8. Distribuția erorilor absolute și relative pentru modelele ANN.
- Figura 3.9. Corelația dintre valorile măsurate și cele estimate ale viscozității cinematice.
- Figura 3.10. Variația viscozității cinematice a amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol în funcție de compoziția acestora.
- Figura 4.1. Elementele geometrice principale ale jetului de combustibil injectat.
- Figura 4.2. Standul experimental pentru studiul procesului de injecție.
- Figura 4.3. Standul experimental realizat pentru studiul procesului de injecție.
- Figura 4.4. Testerul electronic de injectare.
- Figura 4.5. Secvențele realizării imaginii jetului.
- Figura 4.6. Măsurarea și corectarea parametrilor geometrici ai jetului de combustibil.
- Figura 4.7. Evoluția penetrației jetului,  $S$ , în funcție de timp.
- Figura 4.8. Variația unghiului jetului de combustibil injectat,  $\delta$ , în funcție de timp.
- Figura 4.9. Variația vitezei frontului jetului,  $v$ , în funcție de timp.

Figura 5.1. Standul de încercare.

Figura 5.2. Variația consumului specific efectiv de combustibil în funcție de sarcină.

Figura 5.3. Variația randamentul motorului în funcție de sarcină.

Figura 5.4. Variația emisiilor de monoxid de carbon în funcție de sarcină.

Figura 5.5. Variația emisiilor de dioxid de carbon în funcție de sarcină.

Figura 5.6. Variația emisiilor de oxizi de azot în funcție de sarcină.

Figura 5.7. Variația emisiilor de hidrocarburi în funcție de sarcină.

Figura 5.8. Variația emisiilor de fum în funcție de sarcină.

## LISTA TABELELOR

- Tabelul 2.1. Aparatura utilizată la determinarea proprietăților fizico-chimice principale ale constituenților
- Tabelul 2.2. Compoziția motorinei
- Tabelul 2.3. Compoziția de metil esteri ai acizilor grași a biodieselului fabricat din ulei de rapiță
- Tabelul 2.4. Densitatea constituenților la diferite temperaturi, în g/mL
- Tabelul 2.5. Viscositatea constituenților la diferite temperaturi, în mm<sup>2</sup>/s
- Tabelul 2.6. Principalele proprietăți fizico-chimice ale constituenților
- Tabelul 2.7. Notarea amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol
- Tabelul 2.8. Valorile experimentale ale densității amestecurilor de BME, în g/mL
- Tabelul 2.9. Valorile măsurate ale viscozității amestecurilor, în mm<sup>2</sup>/s
- Tabelul 3.1. Principalele modele pentru descrierea variației densității constituenților cu temperatura
- Tabelul 3.2. Valorile și precizia coeficienților RL și RP
- Tabelul 3.3. Valorile coeficienților ecuației DIPPR105
- Tabelul 3.4. Valorile coeficienților ecuațiilor RaSD și RaSD2Exptl
- Tabelul 3.5. Valorile indicatorilor statistici pentru acuratețea modelelor utilizate pentru estimarea densității constituenților
- Tabelul 3.6. Valorile și precizia constantelor din relația (3.25)
- Tabelul 3.7. Valorile numerice ale constantelor din relația (3.27)
- Tabelul 3.8. Evaluarea preciziei modelelor pentru estimarea densității amestecurilor
- Tabelul 3.9. Constantele din ecuația VFT și precizia acestora
- Tabelul 3.10. Valorile factorilor de pondere din relațiile (3.39) și (3.40) și precizia estimărilor
- Tabelul 3.11. Indicatorii statistici pentru evaluarea modelelor ANN
- Tabelul 3.12. Verificarea modelelor de viscozitate pentru datele existente în literatura de specialitate corespunzătoare temperaturii de 313,15 K
- Tabelul 4.1. Imaginile înregistrate ale jeturilor în cazul combustibililor testați
- Tabelul 5.1. Caracteristicile principale ale motorului cu aprindere prin comprimare
- Tabelul 5.2. Diferențele procentuale ale principalilor parametri