

EXECUTANT: UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA, CATEDRA: ARMA

Programul: IDEI; Tipul proiectului: Proiecte de cercetare exploratorie

Cod proiect: ID_1098; Nr. Contract: 88/01.10.2007

ETAPA 2008

Desfășurarea activităților în vederea atingerii obiectivelor propuse

2.1. Elaborarea și evaluarea calitativă a amestecurilor cercetate

2.1.1. Prepararea amestecurilor biodiesel-motorină-bioetanol cercetați

Cele 10 tipuri de amestecuri identificate în etapa anterioară pentru a face obiectul cercetărilor din această etapă sunt redată în tabelul 2.2 și au fost preparate în mod asemănător etapei anterioare (la studiul miscibilității). În derularea cercetărilor motorina a fost utilizată ca referință.

2.1.2. Determinarea proprietăților fizico-chimice ale amestecurilor elaborate și compararea lor cu standardele în vigoare

Proprietățile fizico-chimice determinate pentru cei 11 combustibili au fost: densitatea, viscozitatea dinamică și cinematică, tensiunea superficială, conținutul de apă, conținutul de sulf, temperaturile de inflamare, de tulburare și de filtrabilitate. Aparatura utilizată pentru determinarea proprietăților fizico-chimice ale amestecurilor prezentată în tabelul 2.1 Unele rezultatele experimentale obținute sunt redată în tabelul 2.1 și figurile 2.1 și 2.2.

Tabelul 2.1. Aparatura utilizată pentru determinarea proprietăților fizico-chimice ale componentelor de biocombustibil

Mărime măsurată	Aparat	Producător	Metoda de determinare	Rezultate obținute
0	1	2	3	4
Densitatea	SVM 3000 Stabinger	Anton Paar GmbH, Austria	SR EN ISO 12185 (Metoda cu tub U oscilant)	11 curbe de variație
Viscozitatea dinamică și cinematică			ASTM D 7042-04	22 curbe de variație
Proprietățile principale ale motorinei	IROX 2000 DIESEL	GRABNER INSTRUMENTS, Austria	- EN/DIN 22719 - cifra cetanică – ASTM D 613 - indicele cetanic – SR EN ISO 4264, ASTM D 976 - conținutul de hidrocarburi aromatice policiclice – EN 12916 - conținutul de EMAG – EN14078 - proprietățile de distilare: t_{85}, t_{90}, t_{95} (EN ISO 3405, ASTM D 86)	66 măsurători
Conținutul de sulf	ANTEK 9000	PAC, SUA	Piro-chemoluminescență, ASTM D 5453	11 măsurători
Temperatura minimă de inflamabilitate	HFP 339 Pensky- Martens	Herzog, SUA	EN/DIN 2719	22 măsurători
Conținutul de apă	Predicta OM 1000, Model CA21	A1-envirotech, Anglia	Coulometrie prin titrare Karl-Fischer, EN ISO 12937	11 măsurători
Cifra cetanică	ZX-101XL	ZELTEX, SUA	Infraroșu apropiat	22 măsurători
Temperatura minimă de filtrabilitate	FPP 5Gs	ISL, Franța	SR EN 116	11 măsurători

Tabelul 2.2. Amestecurile cercetate și unele proprietăți determinate ale acestora

Nr.crt.	Amestec	Cod combustibil	Biocombustibil, % (v/v)	Viscozitatea cinematică, mm ² /s	Tensiunea superficială, N/m	Cifra cetanică	Densitatea, kg/dm ³	Conținutul de sulf, mg/kg	Conținutul de apă, mg/kg	Temperatura de inflamabilitate, °C	Temperatura minimă de filtrabilitate, °C	Puterea calorică, MJ	Coeficient de echivalare
1	BME(2)	B25M70E5	30	2,7560	0,0285	52,60	0,852	8,578	594,8	18	-3	41,10	0,96
2	BME(4)	B20M70E10	30	2,4796	0,02937	49,70	0,847	7,912	629,8	16	-3	40,45	0,95
3	BME(5)	B20M75E5	25	2,6447	0,03285	51,85	0,850	8,171	520,5	17	-3	41,24	0,97
4	BME(8)	B15M75E10	25	2,3739	0,03465	48,95	0,845	7,504	555,5	15,5	-3	40,59	0,95
5	BME(9)	B15M80E5	20	2,5269	0,03476	51,10	0,847	7,764	446,2	16	-3	41,38	0,97
6	BME(13)	B10M80E10	20	2,2746	0,03176	48,20	0,843	7,097	481,2	15	-3	40,74	0,96
7	BME(14)	B10M85E5	15	2,4205	0,03483	50,35	0,845	7,356	371,9	14	-3	41,53	0,97
8	BME(19)	B5M85E10	15	2,1759	0,03065	47,45	0,843	6,689	406,9	15	-3	40,88	0,96
9	BME(20)	B5M90E5	10	2,4353	0,03461	49,60	0,841	6,949	297,6	17,5	-3	41,67	0,98
10	BME(27)	M95E5	5	2,2390	0,03322	48,85	0,841	6,541	223,3	14	-3	41,81	0,98
11	BME(28)	M100	0	2,4853	0,02900	51,00	0,843	6,800	114,0	69	0	42,60	1,00

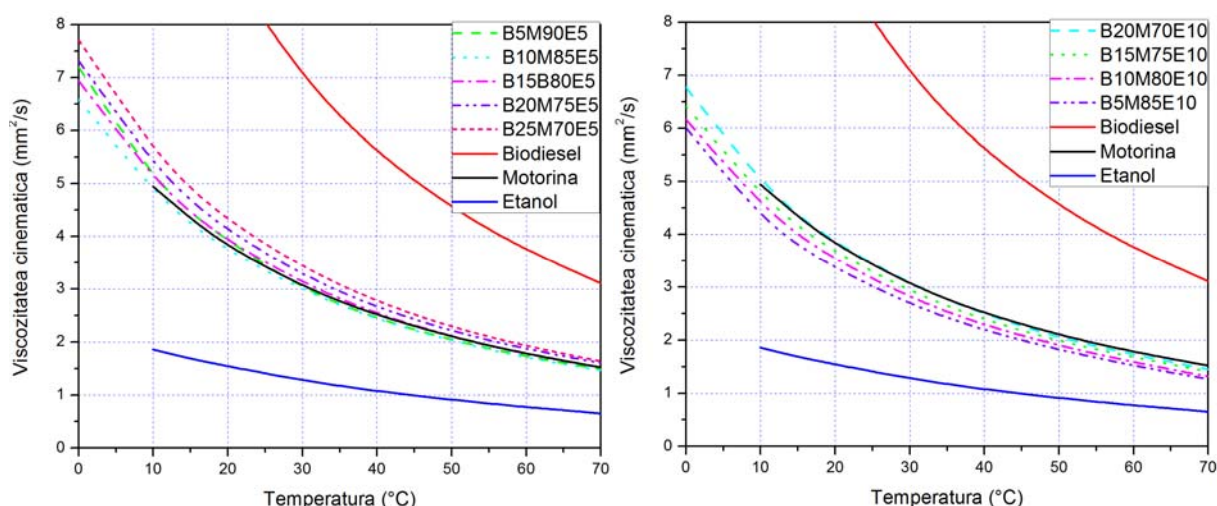


Fig. 2.1. Viscositatea cinematică ai amestecurilor cercetate și comparativ cu viscositatea constituenților.

2.1.3. Determinarea agresivității combustibililor față de elastomeri

Pentru determinarea agresivității combustibililor cercetați s-au ales o serie de elemente de etanșare, care fac parte din construcția unui sistem de alimentare cu combustibil la un MAC. Elementele de etanșare, la care au fost măsurate în prealabil masa, dimensiunile fizice, volumul și duritatea au fost introduse în 11 vase de sticlă ce conțineau combustibilii prezentați în tabelul 2.2. Pe durata a 10 luni (decembrie 2007-octombrie 2008) probele introduse au fost reevaluate bilunar. În această perioadă un au fost constatare modificări substanțiale în privința mărimilor urmărite.

2.2. Optimizarea procesului de injecție de combustibil prin modelare și simulare numerică

2.2.1. Adaptarea modelelor privind procesul de injecție existente la parametrii combustibililor cercetați

Procesul de injecție are rolul determinant asupra performanțelor unui motor cu ardere internă (putere, economicitate și emisii poluante). Modelarea injecției de combustibil presupune cunoașterea parametrilor de intrare: debitul masic prin orificiile de pulverizare; presiunea de injecție; presiunea din camera de ardere; proprietățile fizice ale combustibilului; elementele geometrice ale orificiilor de pulverizare și urmărește determinarea parametrilor de ieșire: coeficientul de debit al injectorului (orificiilor injectorului); unghiul de dispersare a jetului de combustibil; viteza efectivă a combustibilului injectat; penetrația jetului; diametrul picăturilor. Valorile obținute, pe baza unui model matematic dezvoltat, pentru vitezele de injecție, unghiurile conului jetului de combustibil și diametrul mediu al particulei de combustibil sunt prezentate în tabelul 2.3, care evidențiază și influența presiunii de injecție asupra vitezelor de injecție și a diametrelor particulelor de combustibil injectat.

Tabelul 2.3. Valorile parametrilor pentru combustibilii cercetați

Presiune de injecție, [bar]	Densitate, [kg/m ³]	Viteza de injecție, [m/s]	Unghiul conului, [°]	SMD (diametrul mediu Sauter), [cm]
Motorină				
300	841	171,575	11,34	0,055
500		251,803	13,74	0,048
900		312,044	15,03	0,044
1200		362,406	16,49	0,041
Biodiesel				
300	886	167,161	11,34	0,056
500		245,325	13,74	0,048
900		304,016	15,30	0,045
1200		353,083	16,49	0,042
B20M70E10				
300	846	171,067	11,34	0,057
500		251,057	13,74	0,049
900		311,12	15,3	0,044
1200		361,333	16,49	0,042
B20M75E5				
300	848	170,865	11,34	0,057
500		250,761	13,74	0,050
900		310,753	15,3	0,045
1200		360,907	16,49	0,042
B25M70E5				
300	851	170,563	11,34	0,058
500		250,319	13,74	0,050
900		310,205	15,3	0,046
1200		360,27	16,49	0,043

Pentru combustibilii simulați s-au luat în considerare proprietățile: *căldura latentă de vaporizare*, *conductivitatea termică*, *densitatea*, *presiunea de vapor*, *tensiunea superficială* și *viscozitatea* pentru intervalul de temperatură de 0...730 K, raportarea făcându-se la valorile utilizate de KIVA pentru motorină și etanol. Valorile și variațiile tuturor proprietăților studiate sunt prezentate grafic, asemănător figurii 2.3.

2.2.2. Simularea computerizată a procesului de injecție

Mediul de simulare ales a fost Kiva 3V, soft dezvoltat de către Laboratorul National Los Alamos și Centrul de Cercetare a Motoarelor din cadrul Universității Wisconsin – Madison USA. Aplicația rulează în sistemul de operare MS-Dos și Linux, fiind în principal concepută pentru studierea proceselor termodinamice și chimice ale motoarelor cu ardere internă. Criteriile care au dus la alegerea acestui soft sunt în primul rând disponibilitatea acestuia, această variantă de program fiind gratuită și de asemenea sistemul de operare sub care lucrează (Linux) fiind de asemenea gratuit. Alături de acest criteriu mai stau și posibilitatea utilizării diferiților combustibili, ușurința definirii parametrilor de intrare și nu în ultimul rând caracteristicile programului, care permit modelarea și simularea 2D și 3D, în special pentru motoarele cu ardere internă. Pentru mediul de simulare a fost necesară o adaptare a acestuia la problema studiată prin modificarea bibliotecii de combustibili.

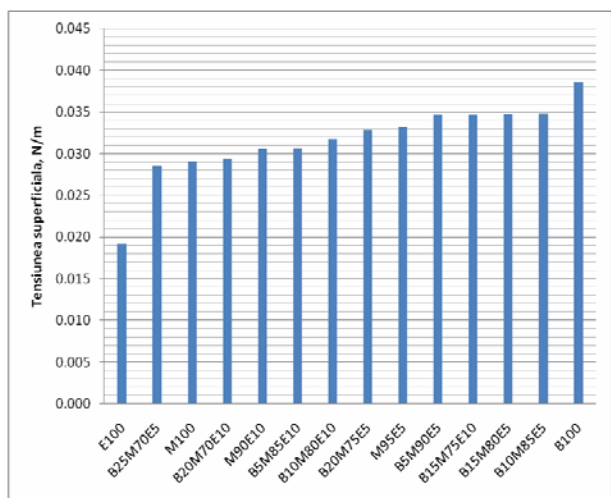


Fig. 2.2. Tensiunea superficială a amestecurilor.

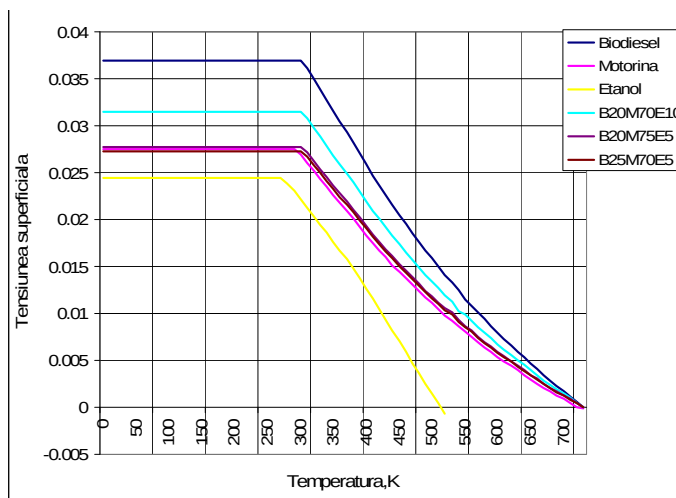


Fig. 2.3. Variația tensiunii superficiale pentru biodiesel, motorină, etanol și amestecuri de biodiesel-motorină-bioetanol.

Pentru posibilitatea realizării unui studiu comparativ între jeturi s-au efectuat cinci seturi de simulări separate, pentru fiecare tip de combustibil (v. Tab. 2.4). Datele obținute în urma simulărilor computerizate au fost procesate, iar rezultatele obținute au fost interpretate. Unde era cazul, datele de intrare au fost corijate, iar simularea a fost reluată. Câteva exemple de imaginile obținute în urma simulării și postprocesării pentru cele cinci tipuri de combustibili la presiunea de injecție de 50 MPa, presiunea mediului de 1 MPa și temperatura mediului de 300 K sunt redată în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4. Exemple de imagini obținute în urma simulării procesului de injecție

Rezultatele simulării injecției pentru combustibilii studiați la 3.0 ms			Evoluția jetului de combustibil pe parcursul injecției (la 3.0 ms)		
Motorina	Biodiesel	B25M70E5	Motorina	Biodiesel	B25M70E5

2.2.3. Corelarea parametrilor procesului de injecție de combustibil cu arhitectura camerei de ardere

În cadrul *preprocesării* au fost definite mai mulți parametri cu ajutorul cărora se redă mediul în care se face simularea. Pentru modelul ales, sunt definite: diametrul cilindrului, cursa pistonului și „squish-ul”, alese în așa fel încât să prezinte cazul injecției în aer liber. Modelul geometric al camerei de ardere s-a realizat printr-o rețea de hexaedre, a căror dimensiuni variază și sunt definite în interiorul domeniilor. Prin *discretizare* temporală se stabilesc momente simulate și limita superioară a pasului de timp. Valoarea pasului de timp se determină la fiecare ciclu de simulare, respectând restricțiile impuse în care $\Delta t_{mx}=10^{-5}$ s și $\Delta t_{mxca}=0.5$ °RAC.

Procesarea a constat compilarea și rularea programului KIVA3V pentru fiecare caz prezentat în tabelul 2.3.

Postprocesarea datelor obținute în urma: simulării s-a utilizat programul TecPlot V.7. în care s-au încărcat fișierele de ieșire din KIVA, iar după o prelucrare ulterioară s-a obținut forma jetului de combustibil. Dispersia jeturilor de combustibil este prezentată grafic la 5, 15, 25 și 30 °RAC (Tabelul 2.3) în scopul evidențierii diferențelor între caracteristicile jeturilor pentru motorină, biodiesel și amestecurile simulate. Exemple de rezultate obținute în cazul unui injector cu 4 orificii de pulverizare sunt redată în figura 2.4.



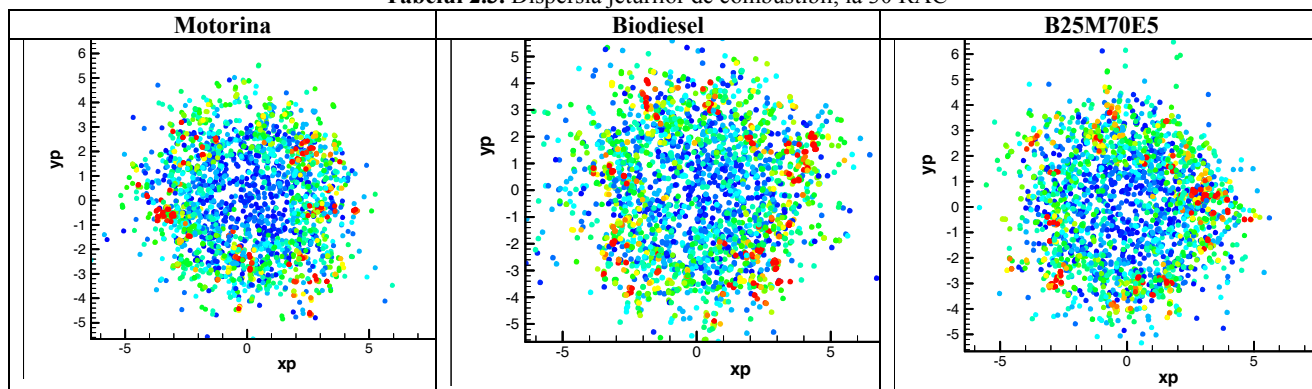
Fig. 2.4. Corelarea parametrilor procesului de injecție cu forma camerei de ardere.

2.3. Determinarea experimentală a caracteristicilor jetului de combustibil injectat

2.3.1. Adaptarea și pregătirea aparaturii de cercetare

Pentru determinarea experimentală a caracteristicilor jetului de combustibil injectat a fost conceput și realizat un stand experimental specializat (Fig. 2.5), care a permis realizarea unor serii de fotografii în fazele succesive ale dezvoltării jetului de combustibil.

Tabelul 2.3. Dispersia jeturilor de combustibil, la 30 RAC



2.3.2. Determinarea parametrilor principali ai injectiei de combustibil pe stand de încercare

Pentru aceasta s-a utilizat un timp de expunere mare (2s), iar blițul s-a declanșat cu o întârziere față de începutul injectiei (Fig. 2.6). Condițiile experimentale au fost: presiunea de injectie: 50 MPa, presiunea din camera de presiune 1 MPa, temperatura mediului 300 K.

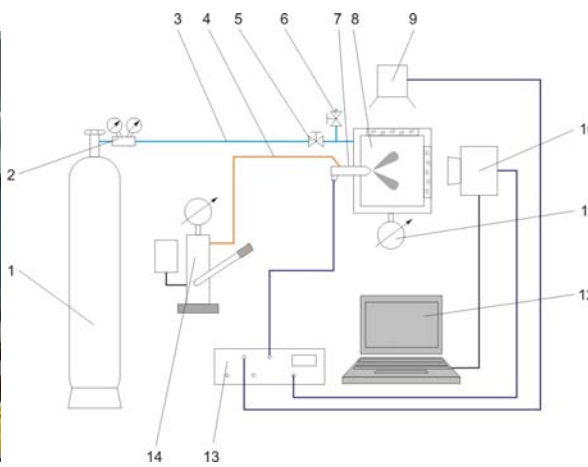


Fig. 2.5. Standul experimenta pentru studiul procesului de injectie: 1 – butelie cu gaz inert (N_2), 2 – supapă de reglare a presiunii, 3 – furtun de înaltă presiune, 4 – conductă de combustibil, 5 – robinet de presurizare, 6 – robinet de purjare, 7 – injector electromagnetic, 8 – cameră de presiune, 9 – bliț, 10 – aparat foto, 11 – senzor de presiune, 12 – calculator portabil, 13 – unitate de sincronizare, 14 – pompă manuală de combustibil.

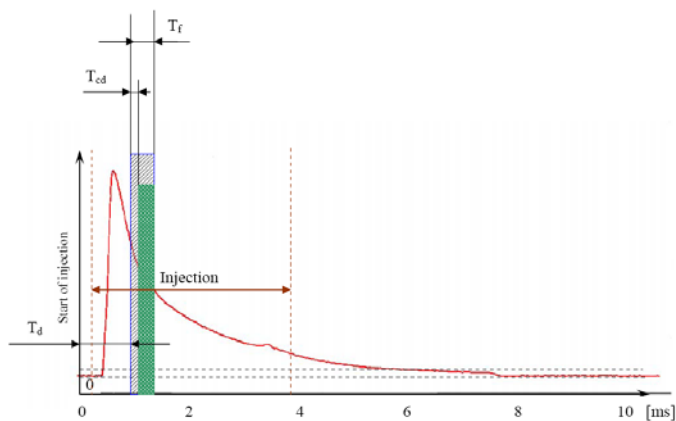


Fig. 2.6. Secvențele realizării fotografiilor:
 T_{cd} – întârzierea aparatului foto; T_f – durată de iluminare;
 T_d – întârzierea dintre începutul injectiei și declanșarea blițului.

2.3.3. Corelarea prin cercetări experimentale ai parametrilor injectiei de combustibil cu rezultatele teoretice

Pentru corelarea cercetărilor experimentale cu cele teoretice s-a urmărit asigurarea unor condiții identice privind desfășurarea procesului de injectie, astfel încât rezultatele obținute să fie cât mai apropiate. Pe durata desfășurării etapei de cercetare procesul de modelare și simulare a fost reluată ori de câte ori se impunea acest lucru pentru asigurarea concordanței dintre rezultatele teoretice și cele experimentale.

2.3.4. Prelucrarea și evaluarea datelor experimentale. Validarea rezultatelor

Prin prelucrarea imaginilor obținute cu ajutorul unor programe specializate s-au determinat: penetrația jetului, unghiul conului de injecție (Fig. 2.8), viteza jetului și timpul de dezintegrare a jetului. Datele experimentale au fost comparate cu cele teoretice, iar cele din urmă au putut fi validate în proporție de 90%.

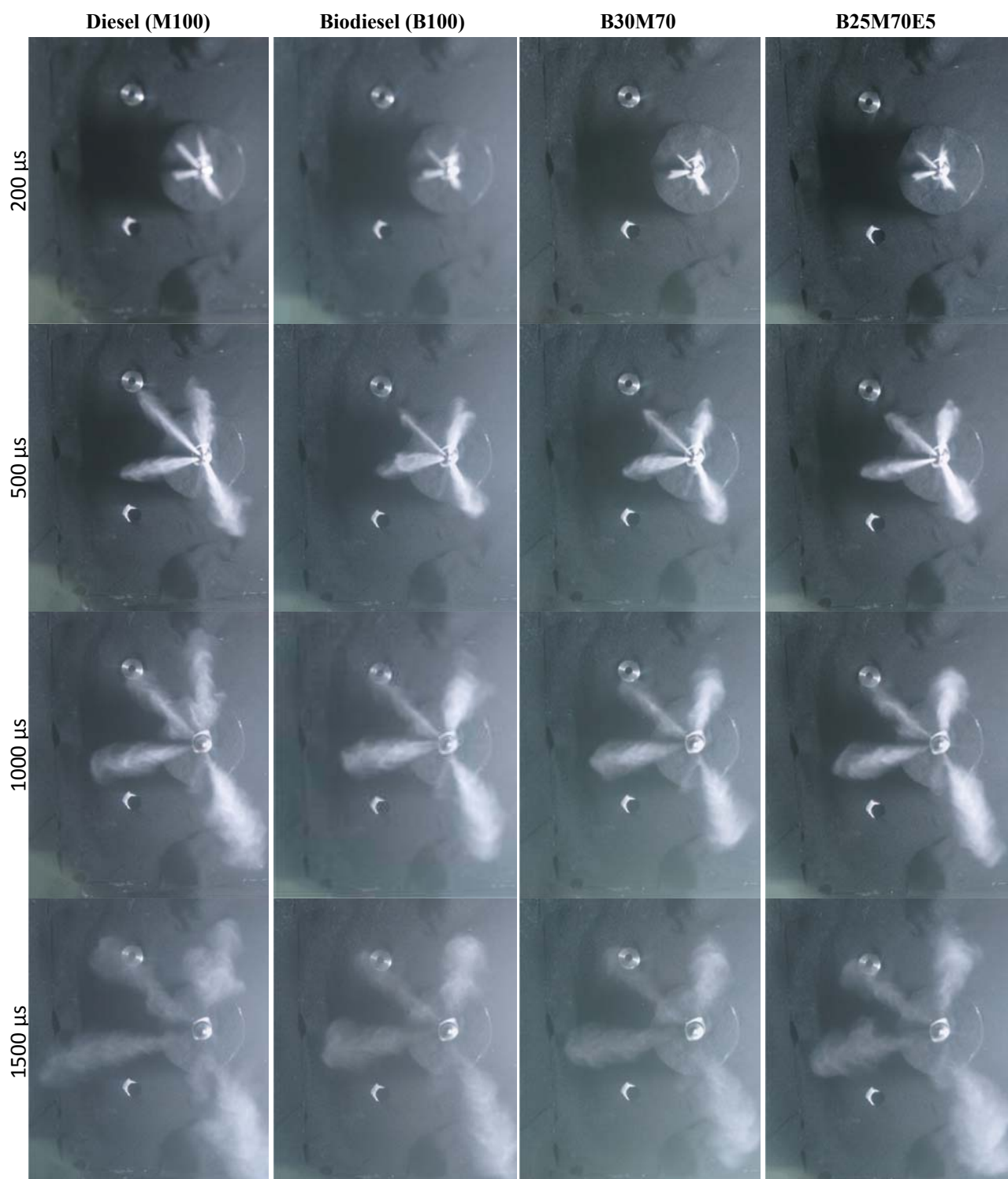


Fig. 2.7. Imaginile obținute pentru motorină (M100), biodiesel (B100), amestec de biodiesel-motorină (B30M70) și amestec de biodiesel-motorină-bioetanol (B25M70E5).

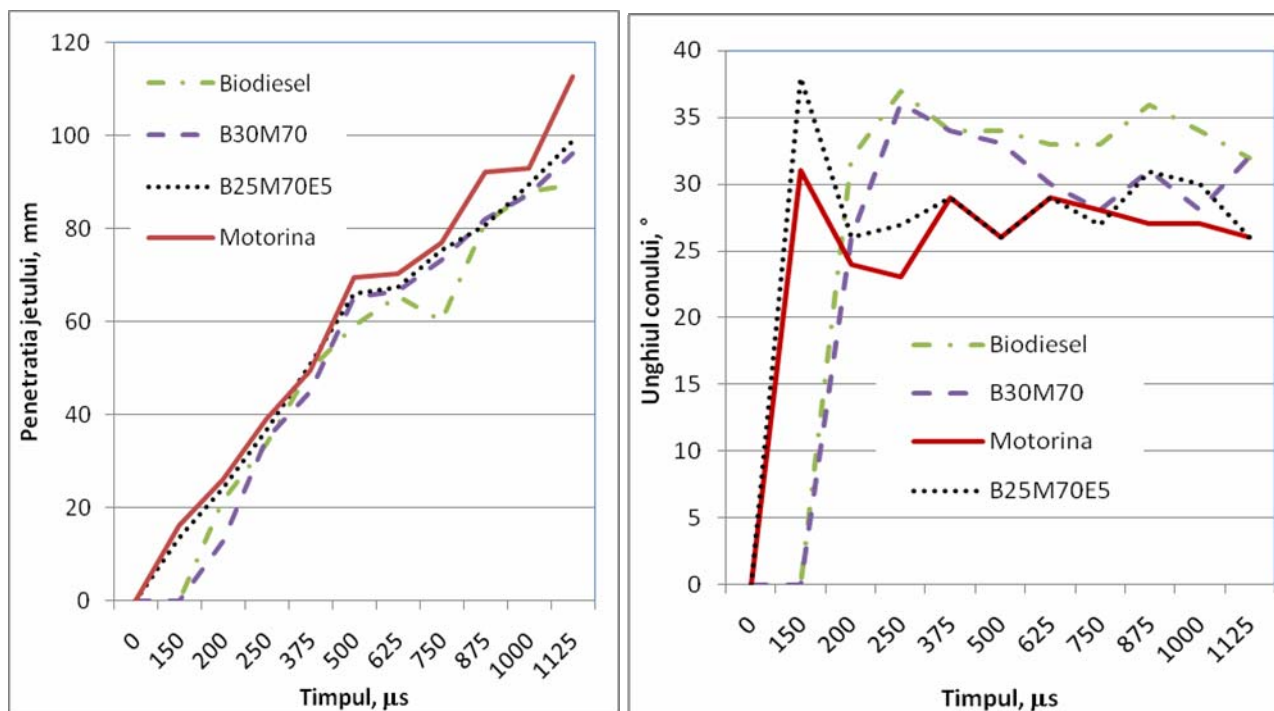


Fig. 2.8. Penetrația jetului și unghiul conului de injecție.

CONCLUZII 2008

- În privința *proprietăților fizice*: majoritatea proprietăților fizice ale amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol sunt apropiate de cele ale motorinei; din punctul de vedere al viscozității valori cele mai apropiate se obțin în cazul amestecurilor cu un conținut de biodiesel de 2 ori mai mare decât cel de etanol; densitatea amestecurilor crește cu creșterea conținutului de biodiesel, dar se compensează prin densitatea mai redusă a etanolului. puterea calorică scade ușor mai ales cu creșterea conținutului de etanol; cifra cetanică redusă a etanolului este compensată de cifra cetanică mai mare al biodieselului;
- În ceea ce privește *modelarea combustibililor* cercetați se pot concluziona următoarele: modelarea combustibililor cercetați prin variația cu temperatura a proprietăților fizice, care influențează desfășurarea procesului de injecție (căldura latentă de vaporizare, conductivitatea termică, densitate, viscozitate, presiune de vapori etc.) au avut loc cu o aproximare corespunzătoare, comparabilă cu cea a motorinei, a cărei model exista în biblioteca programului utilizat;
- Cu privire la *simulările procesului de injecție* s-au constatat următoarele: odată cu creșterea presiunii de injecție cresc și vitezele de injecție, la fel și unghiul pe care îl formează conul jetului; diametrul mediu al particulelor scade (însă depinde și de densitatea combustibilului); dispersia particulelor pentru jetul de biodiesel este mai mare decât dispersia în cazul celorlalte jeturi; vaporizarea particulelor pentru combustibilii cu conținut mai ridicat de etanol, mai rapidă; unghiul conului jetului variază în funcție de tipul de combustibil, cel mai mare fiind în cazul biodieselului, apoi cel al amestecului cu un conținut mai mare de etanol B20M70E10, urmând în ordine descrescătoare B20M75E5 și B25M70E5; forma jetului pentru amestecuri care conțin etanol se apropie de forma jetului de motorină;
- În ceea ce privește *încercările pe stand*, imaginile înregistrate în fazele succesive ale procesului de injecție demonstrează că amestecul B25M70E5 se apropie foarte mult de motorină, confirmând și rezultatele teoretice obținute prin simulare.
- Datorită faptului că amestecul B25M70E5 a condus la cele mai apropiate rezultate cu cele obținute în cazul motorinei, cercetările viitoare se vor concentra asupra acestuia.