

Bio-motorhajtóanyagok befecskendezési jellemzőinek optimalizálása

Optimization of Injection Parameters for Biofuel Jet

Dr. BARABÁS István, Dr. TODORUȚ Adrian, Dr. CSIBI VENCEL-József

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Mechanika Kar

Abstract

In terms of energy savings and protection of global environment against air pollution is a very important problem. Vegetable oil is an interesting alternative to fossil diesel fuel, as they are renewable source of energy, have a low sulfur content, and are safe to store. However, using vegetable oils in order to fuel direct injection diesel engines creates problems due to their low heat energy, low volatility and high viscosity.

These problems are reduced to minimum by subjecting the vegetable oils to the process of transesterification. Some problems remain, like as spray parameters – injection velocity, injection cone angle, spray penetration, droplets size – modified by different fuel properties.

In this paper, using a numerical analysis, which was used to understand the phenomena of fuel injection process and the help the development of the spray specifications, is described.

Bevezetés

Az alternatív motorhajtó-anyagok szükségességének két legfontosabb szempontja a környezetszennyezés és a hagyományos – többnyire fosszilis eredetű – energiahordozók természetes tartaléknak végeessége. Biomasszából előállított motorhajtó-anyagokkal részben vagy egészben kiválthatók a hagyományos hajtóanyagok, azonban széleskörű alkalmazásuk még várat magára.

Új típusú motorhajtó-anyagok bevezetése feltételezi a belsőégésű motor és a hajtóanyag egymáshoz való illesztését. Ennek megvalósítására három megoldás kínálkozik: a hajtóanyag illesztése a motorhoz, a motor illesztése a hajtóanyaghoz és az előbbi kettő kompromisszumos megoldása.

Írásunk a biodízel típusú motorhajtóanyagok illeszthetőségének vizsgálatát tűzte ki célul, a motorikus folyamatokat nagyban befolyásoló befecskendezés minőségének elméleti kutatásával.

1. A biodízel típusú motorhajtó-anyagok a befecskendezés minőségét befolyásoló fontosabb tulajdonságai

A biodízel alapanyaga lehet növényi olaj, állati zsíradék, valamint különböző termokémiai úton előállított biomassza alapú szénhidrogén termék. Napjainkban a legszélesebb körű felhasználásnak a növényi olajok metilészterei örvendenek.

Bár a növényi olajok metilészterei nagyban megközelítik a gázolaj fizikai és kémiai tulajdonságait, mégis maradnak olyan paraméterek, amelyek a motor keverékképzését nagyban befolyásolják. Összehasonlítás-ként, a legfontosabb növényi olajból nyert metilészterek fizikai tulajdonságait az 1. táblázatban foglaltuk össze. A Romániában szabványosított gázolaj (SR EN 590) valamint az Európai Unió biodízellel vonatkozó előírásai (EN 14214) a táblázatban összehasonlítás céljából szerepelnek.

1. Táblázat

A biodízel típusú motorhajtóanyagok fontosabb tulajdonságai

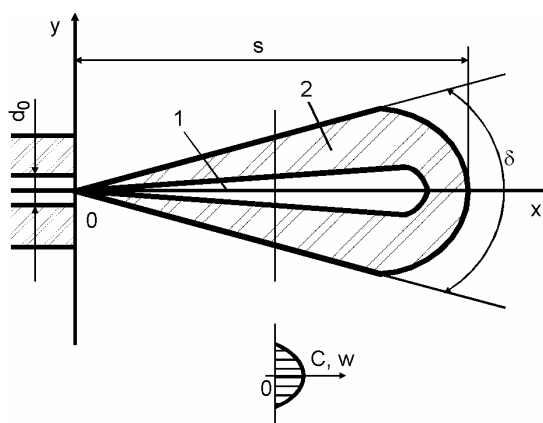
Tulajdonság	Jelölés	Mértékegység	Repceolaj metil észter (RME)	Napraforgóolaj metil észter (NFME)	Szójaolaj metil észter (SZME)	Biodízel, EN 14214	Gázolaj, SR EN 590
Cetánszám	CC	–	54,4	39,9	46,2	min. 51	47,8
Sűrűség 15 °C-on	ρ	kg/ m ³	874	873	884	860-900	852
Kinematikai viszkozitás 40°C-on	ν	m ² /s	6,2·10 ⁻⁶	3,66·10 ⁻⁶	3,8·10 ⁻⁶	5,5-5·10 ⁻⁶	3,2·10 ⁻⁶
Dinamikai viszkozitás 40°C-on	η	N·s/ m ²	5,42·10 ⁻³	3,22·10 ⁻³	3,3·10 ⁻³	nincs meghat.	2,73·10 ⁻³
Felületi feszültség	σ	N/m	25,4·10 ⁻³	28,8·10 ⁻³	28,2·10 ⁻³	nincs meghat.	22,5·10 ⁻³
Alsó fűtőérték	Q _i	MJ/kg	37,77	37,19	37,04	nincs meghat.	(42,50)
Zavarodáspont	t _t	°C	-2	2	0	nincs meghat.	-12
Fagypon	t _f	°C	-9	-3	-2	nincs meghat.	-16
Égési hőmérséklet	t _a	°C	179		188	nincs meghat.	74
Lobbanáspont	t _{aa}	°C	210		204	101	88

A táblázatban bemutatott értékeket összehasonlítva megállapíthatók a következők:

- növényi olajokból nyert biodízel típusú hajtóanyagok sűrűsége bár magasabb a gázolajénál, beilleszkedik a biodízel szabványban előírt intervallumba;
- a bio-motorhajtóanyagok 40°C-on mért kinematikai viszkozitása magasabb a gázolajéhoz képest, azonban csupán a RME esetében észlelhető a szabványban javasolt értékek enyhe túllépése;
- a felületi feszültséget vizsgálva megállapítható, hogy a biohajtóanyagok esetében ennek értéke jóval magasabb a gázolajénál, ami nagyban befolyásolja a befecskendezés minőségét;
- a biodízel fűtőértéke alacsonyabb a gázolajénál, ami a motor teljesítményének a csökkenéséhez és a tüzelőanyag-fogyasztás növekedéséhez vezet;
- alacsony hőmérséklet-tartományban a biodízel hajlamosabb zavarodásra, a fagypontja pedig 8-14 °C-kal magasabb a gázolajénál.

2. A befecskendezési folyamat modellezése

A belsőégésű motorok keverékképző rendszerében a tüzelőanyag befecskendezése a porlasztó csúcs furatán nyomáskülönbség hatására létrejövő erő által átréselt tüzelőanyag porlasztásával jön létre (1-es ábra). A porlasztási kép két jól elkülönülő részt mutat be: az 1-el jelölt folyékony halmazállapotú folytonos tüzelőanyag-sugarat és az ezt körülvevő 2-es jelölésű apró cseppekből alakult, ködszerű burkot.



1. ábra

Egyszerűsített porlasztási kép

A folyékony halmazállapotú hajtóanyagok égéséhez elengedhetetlen a tüzelőanyag aprózódása és az égéstérben történő szétszórása. Befecskendezéssel a folyékony halmazállapotú tüzelőanyag a levegővel kapcsolatba kerülő felülete megközelítőleg az ezerszeresére növekszik, elősegítve az előbbi gyorsabb párolgását és az oxidációs kémiai reakciók elindulását és lefolyását. Ugyanakkor, a befecskendezett sugarat úgy irányítja az égéstérbe, hogy a rendelkezésre álló levegő-mennyiség maximálisan kihasználódjon.

A befecskendezés minősége a befecskendező sugár négy fontosabb jellemzőjével értékelhető: porlasztási finomság, porlasztás egyenmősége, szórási távolság (mélység), szórási szög.

A porlasztás finomsága és egyenmősége főként a tüzelőanyag párolgási folyamatát, míg a szórási távolság és a szórási szög a keverékképzés minőségét határozza meg.

A **porlasztási finomság** a tüzelőanyag-sugár aprózódásával létrejövő cseppek méretével írható le. A dízel motorok esetében magas porlasztási minőségre van szükség, ami 10-20 μm -es cseppméretet jelent. Mivel a porlasztás eredményeként létrejövő cseppek méretének szórása meglehetősen nagy, meghatározásukra, különböző egyszerűsítő feltételek figyelembe vételével több képletet is javasoltak [2, 3, 4, 5]. Ezek közül a párolgási folyamatok számításánál használt Sauter féle átlagátmérőt használtuk, ami a cseppek össztérfogatának és összfelületük hányadosának a hatszorosa [4]:

$$\overline{d_{csS}} = 6 \cdot \frac{V_{cs}}{S_{cs}} = \frac{\sum n_{cs} \cdot d_{cs}^3}{\sum n_{cs} \cdot d_{cs}^2} = 1,445 \cdot \frac{d_0^{0,667} \cdot \sigma_{ta}^{0,1927} \cdot \eta_{ta}^{0,1466}}{\rho_l^{0,226} \cdot \rho_{ta}^{0,0733} \cdot w_0^{0,532}} \quad (1)$$

ahol: d_0 – a porlasztócsúcs furatának az átmérője; σ_{ta} – a tüzelőanyag felületi feszültsége; η_{ta} – a tüzelőanyag dinamikai viszkozitása; ρ_l – a levegő sűrűsége; ρ_{ta} – a tüzelőanyag sűrűsége; w_0 – a tüzelőanyag áthaladási sebessége a porlasztócsúcs furatán.

A **porlasztás egyenmősége** akkor a legnagyobb, ha minden befecskendezett csepp azonos átmérőjű. Mivel a gyakorlatban ez nem kivitelezhető, ezért egy elosztási függvénnyel kell megközelíteni, ami egy adott átmérő-tartományban beilleszkedő cseppek gyakoriságát írja le az átlagos átmérőhöz viszonyítva [5]:

$$F = \Phi \cdot \overline{\Delta d_{prob}} \quad (2)$$

ahol Φ az elosztási függvény, $\overline{d_{prob}}$ a várható cseppátmérő átlagmérete.

A **szórási távolság (S)** a befecskendezett tüzelőanyag által τ idő alatt megtett út, ami a következő összefüggéssel számítható [5]:

$$S = \int_0^{\tau} w_x \cdot d\tau \quad (3)$$

ahol w_x – a tüzelőanyag a fűvókafurat irányában, ettől S távolságra eső sebessége.

A szórási távolság akkor optimális, ha a tüzelőanyag a befecskendezés ideje alatt áthalad a teljes égéskamrán, anélkül hogy ennek szemközti falára csapódna.

Ha a szórási távolság túl nagy, a tüzelőanyag az égéstér hideg falára csapódva lassú kémiai folyamatokon megy át, ami tökéletlen égéshez, az égéstér elkoszosodásához és a motor erős, kék színű füstöléséhez vezet. Túl rövid szórás a porlasztócsók környezetében okoz hasonló jelenségeket, emellett mivel a falak közelében levő levegő nem vesz részt az égésben, így ez tökéletlen marad, ami a motor fekete színű füstölésével jár.

A szórási távolság meghatározható, ha ismerjük a befecskendezési sugár szétesésének a porlasztócsúcs-tól mért S_{sze} távolságát [2, 3]:

$$S_{sze} = w_0 \cdot \tau_{sze} \cong k_1 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ta}}{\rho_l}} \cdot d_0 \quad (4)$$

ahol τ_{sze} a befecskendezési sugár szétesésének pillanatáig eltelt idő, S_{sze} – a befecskendezési sugár szétesésének a porlasztócsúcs-tól mért távolsága, $k_1 = 15,8$ – kísérleti úton megállapított állandó.

A w_0 sebességet az energiamérleg egyenletéből kapott képlettel lehet kiszámolni [1, 5]:

$$w_0 = \mu_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{ta}}} \quad (5)$$

ahol μ_0 állandó a porlasztócsúcs furatában létrejövő veszteségeket veszi figyelembe, Δp – pedig a befecskendezési nyomás és az égéstéri nyomás különbsége.

A előbbi két összefüggésből kifejezhető a befecskendezési sugár szétesésének pillanatáig eltelt idő [2]:

$$\tau_{sze} = \frac{c_1 \cdot \rho_{ta} \cdot d_0}{\sqrt{2 \cdot \mu_0^2 \cdot \rho_l \cdot \Delta p}} \quad (6)$$

Abból a feltételből kiindulva, hogy a befecskendezési sugár szétesésének pillanatától a szórási távolság egyenesen arányos a befecskendezési sugár szétesésének pillanatáig eltelt időnek a négyzetgyökével, e pillanattól kezdve a szórási távolságot a következő egyenlet írja le:

$$S = k_2 \cdot \sqrt{\tau_{sze}} \quad (x.10)$$

ahol a c_2 állandó értékét az $S = S_{sze}$ és $\tau = \tau_{sze}$ feltételekből lehet kifejezni:

$$k_2 = \sqrt[4]{2} \cdot \sqrt{k_1 \cdot \mu_0 \cdot d_0} \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta p}{\rho_l}} \quad (7)$$

A hidraulikus veszteségeket figyelembe vevő együtttható kísérleti úton meghatározott értéke $\mu_0 = 0,39$, amivel a szórási távolságot a következőképpen lehet felírni [4, 5]:

$$S = \begin{cases} 0,39 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_l}} \cdot \tau & 0 < \tau < \tau_{sze} \\ 2,95 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta p}{\rho_l}} \cdot \sqrt{d_0 \cdot \tau} & \tau > \tau_{sze} \end{cases} \quad (8)$$

ahol

$$\tau_{sze} = 28,65 \cdot \frac{\rho_{ta} \cdot d_0}{\sqrt{\rho_l \cdot \Delta p}} \quad (9)$$

A szórási távolság egyenesen arányos a d_0 , w_0 , ρ_{ta} , η_{ta} , τ , és fordítottn a ρ_l , σ_{ta} paraméterekkel, vagyis a porlasztás egyneműségét és a szórási távolságot ugyanazok a tényezők határozzák meg.

A szórási szög (δ) a porlasztási kép körvonalára érintőlegesen, a porlasztócsónk furatából kiindulva szerkesztett kúp központi szöge. Kísérleti úton bizonyított, hogy a szórási szög időben változó paraméter, aminek értéke csupán a befecskendezési idő vége felé állandósul. A szórási szög a szórási távolsággal együtt a tüzelőanyag égéstéri eloszlását jellemzi. Értékének meghatározására több tapasztalati összefüggést is javasoltak. Ezek közül az egyik [2]:

$$\delta = k_3 \cdot \left(\frac{\rho_{ta}}{\rho_l} \right)^{m_1} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{ta}}} \cdot \frac{d_0 \cdot \rho_{ta}}{\mu_l} \right)^{m_2} \quad (10)$$

ahol ρ_l a levegő kinematikai viszkozitása, $k_3 = 0,00413$; $m_1 = -0,25$; $m_2 = 0,5$ tapasztalati állandók.

Behelyettesítve az előbbi összefüggésbe, a szórási szög értéke a következőképpen alakul [2]:

$$\delta = 0,05 \cdot \sqrt[4]{\frac{d_0^2 \cdot \rho_l \cdot \Delta p}{\mu_l^2}} \quad (11)$$

Egy másik tapasztalati összefüggés a szórási szög meghatározására [2, 5]:

$$\tan(\delta) = \frac{1}{A} 4\pi \sqrt{\frac{\rho_{ta}}{\rho_l}} \frac{\sqrt{3}}{6} \quad (12)$$

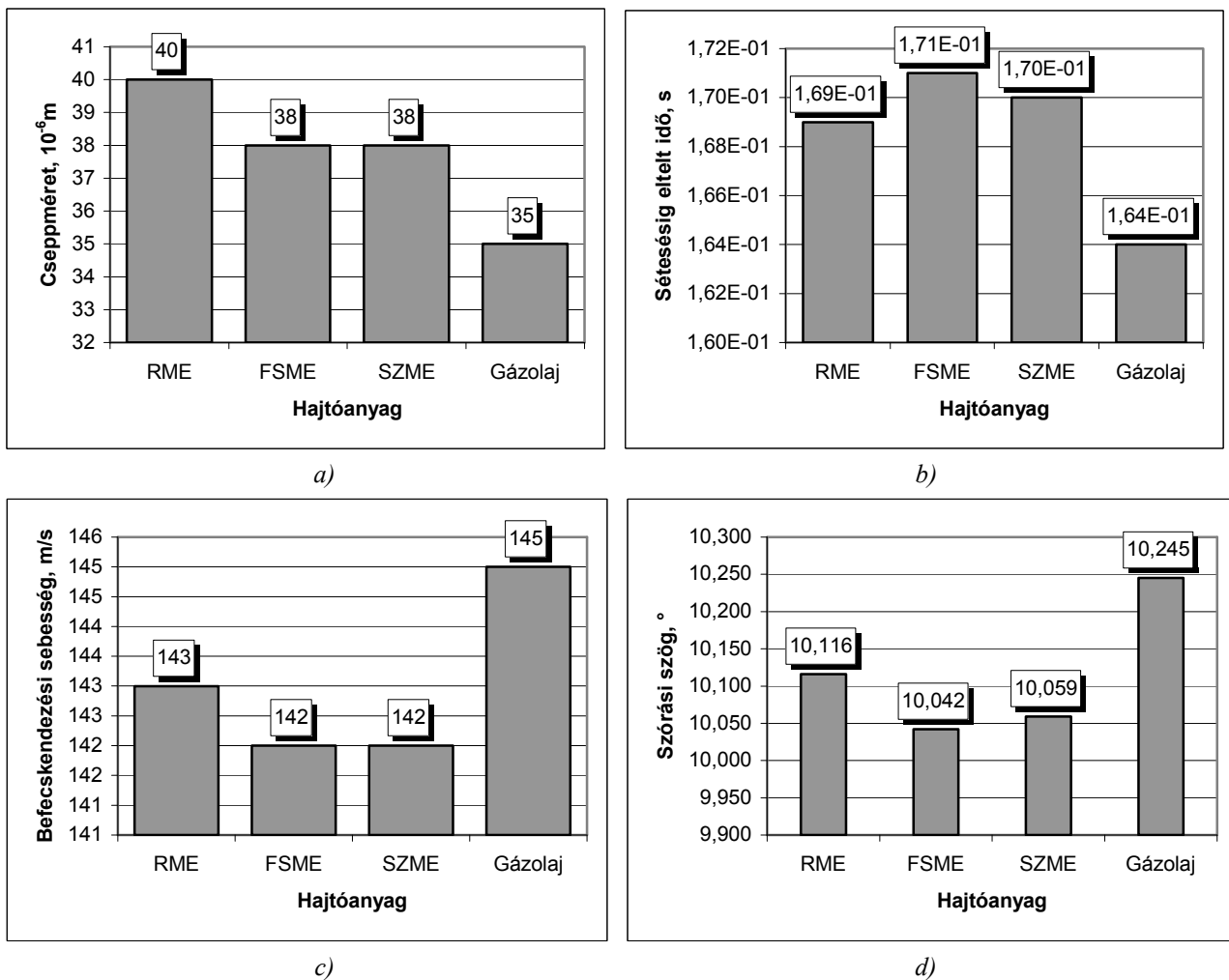
ahol

$$A = 3 + 0,28 \frac{l_0}{d_0} \quad (13)$$

3. Számítási eredmények

A modell alapján elvégzett számítások eredményeit a 2. ábrán mutatjuk be. Megállapítható, hogy a cseppméret növekszik a biohajtóanyagok esetében, elsősorban a magasabb viszkozitásuk és felületi feszültségük eredményeképpen. A megnövekedett cseppméret egyenes következménye, hogy kevésbé egynemű lesz a keverék, az alacsonyabb párolgási sebesség pedig lassúbb keverékképzést eredményez. Egyidejűleg megnő a tüzelőanyag-sugár széteséséig eltelt idő, ezzel együtt pedig a porlasztási távolság, aminek következtében a tüzelőanyag rácsapódik az égéstér falára. Mindezek a körülmények a tüzelőanyag tökéletlen égéséhez vezet.

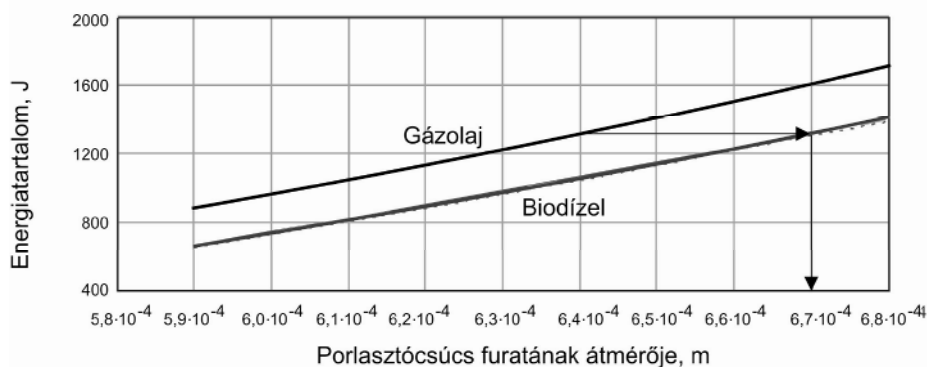
A lecsökkent befecskendezési sebesség miatt az égéstérbe juttatott tüzelőanyag mennyisége csökken, ami, az alacsonyabb fűtőérték mellett, tovább rontja a motorba fecskendezett energia mennyiségét. Megállapítható, hogy a szórási szög lényegesen nem változik.



2. ábra

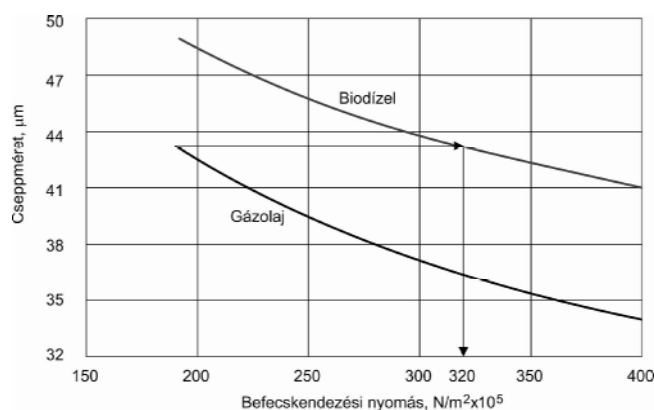
A befecskendezés fontosabb minőségi mutatói: a – cseppméret, b – szétesésig eltelt idő, c – befecskendezési sebesség, d – szórási szög

A fentiekből megállapítható, hogy ahhoz, hogy a motor teljesítménye ne csökkenjen, meg kell növelni a motor-ciklusonként befecskendezett tüzelőanyag-adagot. A szórási távolság lecsökkentéséhez valamint a porlasztás egyneműségének javításához pedig le kell csökkenteni a cseppméretet. Ezeknek megvalósításához meg kell növelni a porlasztócsúcs furatának átmérőjét (3. ábra) és a befecskendezési nyomást (4. ábra).



3. ábra

A befecskendezett tüzelőanyag energiataartalmának változása a porlasztócsúcs furatának függvényében



4. ábra

A befecskendezési nyomás optimalizálása a megfelelő cseppméret eléréséhez.

Összefoglalás

A bio-hajtóanyagok motorikus felhasználásával középtávon kiválthatók a hagyományos motorhajtó anyagok. Mivel a bio-motorhajtóanyagok fizikai tulajdonságai különböznek a gázolajétól, ezek alkalmazása megköveteli a motor egyes paramétereinek módosítását. A porlasztócsúcs furatának növelésével megvalósítható a motor teljesítményének megtartása, a befecskendezési nyomás növelésével pedig elérhető a porlasztás minőségének megtartása.

Felhasznált irodalom

- [1] Christopher von Kuensberg Sarre, Song-Charng Kong, Rolf D. Reitz: *Modeling the Effects of Injector Nozzle Geometry on Diesel Sprays*, SAE Paper 1999-01-0912.
- [2] Hiroyasu, H., Arai, M.: *Fuel Spray Penetration and Spray Angle of Diesel Engines*, Trans. of JSAE, Vol. 21, pp. 5-11, 1980.
- [3] Jung, D., Assanis, D. N.: *Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model for Cycle Simulation Studies of Engine Performance and Emissions*. SAE Paper 2001-01-1246.
- [4] Mariaşiu, F.: *Modelarea injectiei de combustibil la motoare cu aprindere prin comprimare*. Cluj-Napoca, Sincron könyvkiadó, 2001.
- [5] Mariaşiu, F., Băţaga, N., Barabás, I.: *Modelarea curgerii hidrodinamice a combustibilului prin orificiul unui injector*. Piteşti, 2000.