

Biodízel-gázolaj-bioetanol keverékek fontosabb tulajdonságainak modellezése

Modeling the Key Fuel Properties of Biodiesel-diesel Fuel-bioetanol Blends

Modelarea proprietăților principale ale amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol

Dr. BARABÁS István¹, Dr. ZÖLDY Máté², Dr. TODORUȚ Ioan-Adrian¹

¹Kolozsvári Műszaki Egyetem, 400641 Kolozsvár, Muncii sugárút 103-105, tel.: 0040264401674, e-mail: istvan.barabas@auto.utcluj.ro; adrian.todorut@auto.utcluj.ro

²MOL Group, Október huszonharmadika u. 18, H-1117 Budapest, tel. 0036-70-373-1738, email: mzoldy@mol.hu

ABSTRACT

Recently, the ternary blends made of biodiesel, fossil diesel and bioethanol have been the theme of an increasing number of research works in the field of fuels for internal combustion engines. The fuel properties of these kinds of blends may differ significantly from the properties of diesel fuel. In the present work the authors present a series of mathematical models for describing the density, viscosity, surface tension, cetane number and flash point of these blend. These models may be used to optimise the composition of these blends.

ÖSSZEFOGLALÓ

Az utóbbi időben a biodízelből, gázolajból és bioetanolból előállított hármass keverékek egyre több motorhajtó-anyagokkal foglalkozó tudományos kutatás témái. Az ilyen típusú keverékek tulajdonságai nagyban eltérhetnek a gázolaj tulajdonságaitól. Tanulmányunkban az ilyen típusú keverékek sűrűségére, viszkozitására, felületi feszültségére, cetánszámára és lobbanáspontjára javasolunk matematikai modelleket, melyek segítségével ezek keverési arányai optimalizálhatók.

Kulcsszavak: biodízel-gázolaj-bioetanol, tulajdonságok modellezése, sűrűség, viszkozitás, felületi feszültség, cetánszám, lobbanáspont

1. BEVEZETÉS

A hagyományos motorhajtó-anyagok nyersanyagának rohamos csökkenése, a belsőégésű motorokkal felszerelt gépjárművek számának gyors növekedése és az ezzel együtt járó környezetszennyezés fokozódása arra ösztönzi a kutatókat, hogy alternatívákat keressenek a hagyományos motorhajtó-anyagokra [7, 8, 13]. A legígéretesebbek ezek közül a biodízel a gázolaj és a bioetanol a motorbenzin részleges vagy teljes kiváltására. Jelenleg a kúti gázolaj legtöbb 7% (V/V) biodízelt, míg a motorbenzin legfeljebb 10% (V/V) etanolt tartalmazhat. A biodízel növényi olajokból vagy állati eredetű zsírokból átszterezéssel állítható elő, míg a bioetanolt cukor, keményítő vagy cellulóz tartalmú alapanyagokból lehet cukrosítással, erjesztéssel, desztillálással és töményítéssel kinyerni.

A motorhajtó-anyagok sűrűségét és viszkozitását a EN 590 számú szabvány mind alulról mind felülről korlátozza (820–845 kg/m³, illetve 2–4,5 mm²/s). Túl alacsony sűrűség és viszkozitás esetén a befecskendezéskor túl sok kistömegű üzemanyag-részecske keletkezik, amelyek nem képesek messze repülni a befecskendezés helyétől. Ezáltal egy hajtóanyagban túl gazdag zóna alakul ki a befecskendezési pont környékén, ami elegendő oxigén hiányában nem képes elégni. Ezzel ellentétben a túl magas sűrűség és viszkozitás nagyméretű részecskék keletkezéséhez vezet, amelyek mélyen berepülnek az motor égésterébe és még mielőtt teljesen elpárolognának, elérik az égéster szemközti, aránylag hideg falát. Itt lehűlve az égési reakciók leállnak. Mindkét esetben a motor teljesítménye lecsökken, fogyasztása és károsanyag-kibocsátása megnő. Ezenkívül a sűrű-

ség egyenesen befolyásolja az adagolt üzemanyag energiataralmát, mivel az üzemanyag fűtőértéke tömeg-egységre van meghatározva. Továbbá, a viszkozitás befolyásolja az üzemanyagellátó rendszer tömíthetőségét, de részben felelős az olyan rendszerek kenésében, ahol ez nem megoldható egyéb kenési módszerek alkalmazásával (pl. nagynyomású szivattyúk, befecskendezők, stb.).

A sűrűség és a viszkozitás mellett, a hajtóanyagok felületi feszültsége a harmadik legfontosabb tulajdonság, ami a keverékképzés minőségét befolyásolja. Magas felületi feszültség nagy méretű cseppek keletkezéséhez vezet, míg az alacsony felületi feszültség kis cseppek kialakulása mellett az üzemanyag-ellátó rendszer tömíthetőségét is veszélyeztetheti. Ahhoz, hogy megfelelő legyen a keverékképzés a motor égésterében, szükséges a motorhajtó-anyag sűrűségének, viszkozitásának és felületi feszültségének megfelelő korrelálása.

Cetánszám a motorhajtó-anyagok öngyulladás hajlamának jellemzésére szolgáló szám. Általában különleges, erre a célra fejlesztett cetánszám meghatározó motorokban határozzák meg. A vizsgált gázolaj cetánszáma egyenlő a vizsgálmotorban vele azonos égési tulajdonságokat mutató normál-cetánból – melynek cetánszáma 100, és alfa-metil-naftalinból – aminek cetánszáma 0, készült elegyben levő cetántartalom térfogatszázalékban kifejezett számértékével [9]. A gázolajok és a biodízel cetánszáma legalább 51 kell legyen.

A lobbanáspont az a 101,3 kPa nyomásra átszámított, °C-ban kifejezett legalacsonyabb hőmérséklet, amelyen megszabott körülmények mellett a motorhajtó-anyagból annyi gőz keletkezik, hogy az a körülötte levő levegővel elegyedve lángközelítésre az anyag egész felületére kiterjedően ellobban [9]. A hajtóanyag biztonságos raktározását, szállítását és forgalmazását jellemzi, nem befolyásolja a motor teljesítményét. A gázolaj lobbanáspontja nagyobb kell legyen, mint 55 °C.

Jelen tanulmány célja olyan matematikai modellek azonosítása, amelyek megfelelő pontossággal képesek leírni a biodízel-gázolaj-bioetanol keverékek fontosabb tulajdonságait, mint ezek sűrűsége, viszkozitása, felületi feszültsége, cetánszáma és lobbanáspontja.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK, ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

Kísérleteinkhez kúti gázolajat (EN 590), nátrium-hidroxid (NaOH) jelenlétében metanollal átészterezett repceolajat (EN 14214) és burgonyából előállított bioetanol használtunk (EN 15376). Az összetevők és a keverékek sűrűségét, viszkozitását, felületi feszültségét, cetánszámát és lobbanáspontját az 1. táblázatban bemutatott berendezésekkel és módszerekkel határoztuk meg. Ezen tulajdonságok az összetevők esetében, szabványos körülmények között mért értékeit a 2. táblázat tartalmazza [3, 4, 11, 12].

Tulajdonság	Berendezés	Szabvány
Kinematikai viszkozitás	Anton Paar – SVM 3000	ASTM D7042
Sűrűség	Anton Paar – SVM 3000	EN ISO 12185
Felületi feszültség	Sztalagmométer	–
Cetánszám	CFR F5	EN ISO 5165
Lobbanáspont	HFP 339	EN ISO 2719

	2. táblázat		
Sűrűség 15 °C-on, kg/m ³	843,3	887,4	794,85
Kinematikai viszkozitás 40 °C-on, mm ² /s	2,4853	5,5403	1,0697
Cetánszám	52	55,5	8
Lobbanáspont, °C	61	126	13
Felületi feszültség 20 °C-on, mN/m	28,2	38,60	19,19

Szobahőmérsékleten biodízeltől, gázolajból és bioetanolból hármass keverékek készültek olyan összetételben, hogy a biodízel- és bioetanol-tartalmuk 5%-os (V/V) lépcsőkben változott, de ezek összege legfeljebb 30 % (V/V) volt. Az így kapott keverékeket úgy jelöltük, hogy ez tükrözze az összetételüket: például a B10G85E5 jelű keveréket 10% biodízeltől, 85% gázolajból és 5% bioetanolból állítottuk elő.

Az összetevők és a keverékek sűrűségét és viszkozitását környezeti nyomáson, 273,15...343,15 K hőmérséklet-intervallumban mértük a bioetanol esetében és 273,15...373,15 K intervallumban a biodízel és a gázolaj esetében. A felső határt a bioetanol esetében ennek aránylag alacsony forráspontja határozta meg.

A felületi feszültséget 20 °C-on, sztalagmométerrel határoztuk meg, azonos térfogatú hajtóanyagból és desztillált vízből képződő cseppek számának az összehasonlításával. Mivel az etanol lobbanáspontja alacsonyabb a környezeti hőmérsékletnél, a lobbanáspont méréséhez a hajtóanyagot és a tégelyt le kellett hűteni.

3. A KEVERÉKEK TULAJDONSÁGAINAK A MODELLEZÉSE

3.1. Modellezési eljárások

A keverékek tulajdonságait az összetevők tulajdonságai és bekeverési arányai határozzák meg:

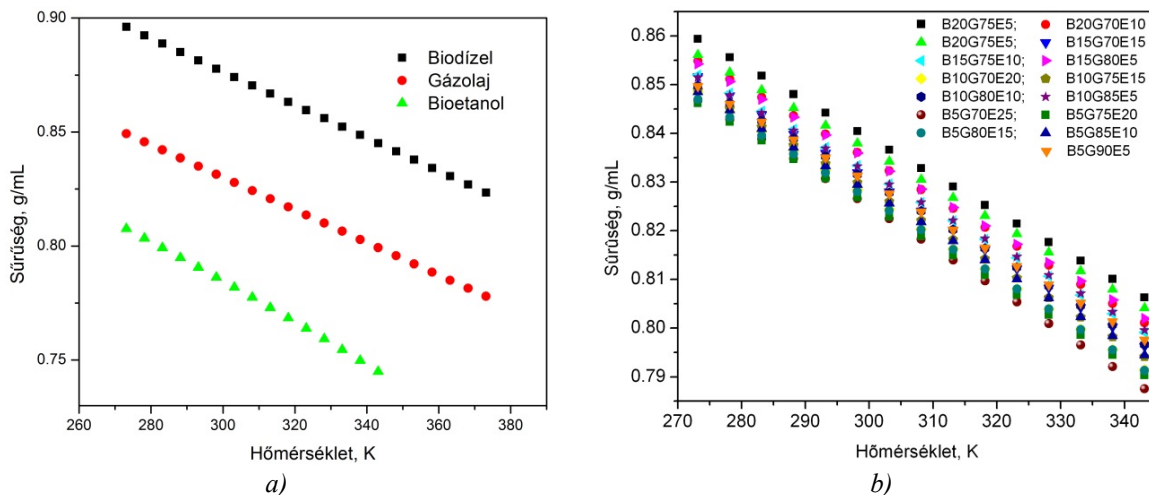
$$J_k = f(J_1, J_2, J_3, \dots, J_n; \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n), \quad (1)$$

ahol n az összetevők száma, $J_k, J_1, J_2, J_3, \dots, J_n$ a keverék, illetve az összetevők egyik tulajdonsága, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$, az összetevők koncentrációja a keverékben, míg f az adott tulajdonság keverési szabálya, ami lehet például additív vagy kiegyenlítő.

A hajtóanyagok sűrűsége és viszkozitása erősen hőmérsékletfüggő. Ezért előbb az összetevők sűrűségét és viszkozitását modelleztük a hőmérséklet függvényében, majd ezeket a modelleket használva kiválasztottuk a keverékek sűrűségét és viszkozitását leíró modelleket.

3.2. A keverékek sűrűségének modellezése

Az összetevők és a keverékek sűrűségének hőmérsékletfüggő változását az 1. ábra mutatja be. Megfigyelhető, hogy a keverékek esetében a biodízel nagyobb sűrűségét jól kompenzálja a bioetanol alacsonyabb sűrűsége.



1. ábra

Az összetevők (a) és a keverékek (b) sűrűségének változása a hőmérséklet függvényében.

Az összetevők sűrűségének hőmérsékletfüggő változása jól leírható egy polinomiális függvény segítségével [1]:

$$\rho = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2, \text{ g/mL} \quad (2)$$

ahol ρ a sűrűség, T a hőmérséklet Kelvinben, a_0, a_1, a_2 pedig állandók. A három összetevőre regresszióval megállapított állandók értékeit és a modellek pontosságát (\overline{AE} – átlagos eltérés, NSz – normál szórás, R – korrelációs együttható) a 3. táblázat tartalmazza.

Az összetevők sűrűség-modelljeinek állandói és a modellek pontossága						3. táblázat
Összetevő	a_0 (g mL ⁻¹)	a_1 (g mL ⁻¹ K ⁻¹)	a_2 (g mL ⁻¹ K ⁻²) ± σ	\overline{AE} , %	NSz , g·mL ⁻¹	R
Biodízel	1,09957	-7,58651×10 ⁻⁴	4,97291×10 ⁻⁸	0,00295	3,42836×10 ⁻⁵	1
Gázolaj	1,04437	-7,14456×10 ⁻⁴	8,12307×10 ⁻¹⁰	0,00410	4,23439×10 ⁻⁵	1
Bioetanol	0,95789	-2,77591×10 ⁻⁴	-9,99192×10 ⁻⁷	0,00513	5,02090×10 ⁻⁵	0,99999

A keverékek sűrűségét az összetétel függvényében a következő egyenlettel lehet leírni [1, 2]:

$$\rho_k = \varphi_B \rho_B + \varphi_G \rho_G + \varphi_E \rho_E - \Delta\rho, \quad (3)$$

amiben ρ_k a keverék sűrűsége, φ_B , φ_G és φ_E az összetevők térfogataránya, $\Delta\rho$ a sűrűség hőmérsékletfüggő kontrakciója, amit a következő összefüggéssel lehet meghatározni [1]:

$$\Delta\rho = b_0 + b_1\varphi_B + b_2\varphi_E + b_3(T - 288,15) \quad (4)$$

ahol b_0 , b_1 , b_2 és b_3 regressziós állandók ($b_0 = 1,27800 \times 10^{-03}$; $b_1 = 1,77429 \times 10^{-03}$; $b_2 = -1,94300 \times 10^{-02}$; $b_3 = 3,81247 \times 10^{-5}$).

Figyelembe véve mind az összetétel mind a hőmérséklet befolyását, a hármas keverékek sűrűsége a következő összefüggéssel írható le [1]:

$$\rho_k = A_0 + A_B\varphi_B + A_E\varphi_E + A_T T \quad (5)$$

ahol az A_0 , A_B , A_E és A_T állandókat többszörös lineáris regresszióval határoztuk meg ($A_0 = 1.06164$; $A_B = 0,04425$; $A_E = -0,03371$; $A_T = -7,74554 \times 10^{-4}$). A fenti modell által szolgáltatott sűrűség értékeinek átlagos eltérése a tapasztalati értékektől $\overline{AE} = 0,34\%$.

Mivel a motorhajtó-anyagok sűrűségét a szabványok szerint 15°C -on kell megadni, erre a hőmérsékletre a következő többszörös lineáris regresszióval megállapított egyenlet használható ($\overline{AE} = 0,172$; $R = 0,999$) [5]:

$$\rho_k^{15^\circ\text{C}} = 0,8433 + 2,04 \cdot \varphi_B - 4,78 \cdot \varphi_E \quad (6)$$

3.3. A keverékek viszkozitásának a modellezése

Az összetevők és a keverékek kinematikai viszkozitásának hőmérsékletfüggő változását a 2. ábra mutatja be. Ebben az esetben is megfigyelhető, hogy a keverékek esetében a biodízel nagyobb viszkozitása nagyon jól kompenzálható a bioetanol alacsonyabb viszkozitásával.

A sűrűség modellezéséhez hasonlóan, előbb az összetevők hőmérsékletfüggő viszkozitását írtuk le, majd ezeket felhasználva a keverékek viszkozitását modelleztük. Az összetevők hőmérsékletfüggő viszkozitása jól leírható a Vogel–Fulcher–Tammann féle egyenlettel [6, 10]:

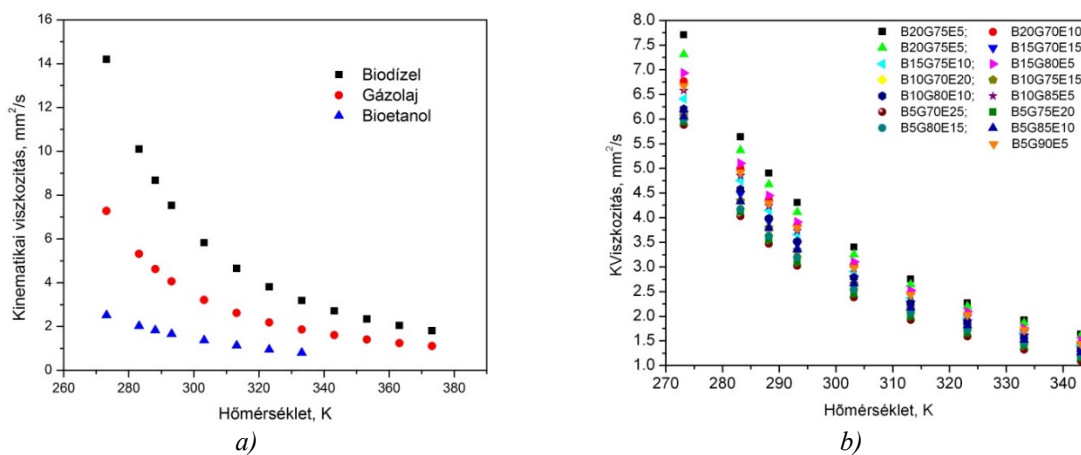
$$\ln \nu = A + \frac{B}{C + T} \quad (7)$$

ahol T a hőmérséklet K-ben, az A , B és C állandók, melyeket nemlineáris regresszióval határoztuk meg mindhárom összetevő esetében. Ezek értékeit valamint a modellek pontosságát a 4. táblázat tartalmazza.

Az összetevők viszkozitás-modelljeinek állandói és a modellek pontossága.

4. táblázat.

Összetevők	A	B	C	$\overline{AE}, \%$	R
Biodízel	-2,0148	593,7011	-145,9664	0,1349	0,9999
Gázolaj	-2,2055	518,9578	-149,2932	0,2652	0,9999
Bioetanol	-7,7005	3393,6975	120,4393	0,2093	0,9999



2. ábra

Az összetevők (a) és a keverékek (b) kinematikai viszkozitásának változása a hőmérséklet függvényében.

A keverékek viszkozitása a következő, koncentrációkkal súlyozott, additív modellel (Kay szabály) írható le [10]:

$$\ln \nu_k = \varphi_B \cdot \ln \nu_B + \varphi_G \cdot \ln \nu_G + \varphi_E \cdot \ln \nu_E \quad (8)$$

ahol ν_k , ν_B , ν_G , ν_E a keverék, illetve az összetevők ugyanazon a hőmérsékleten mért viszkozitása, φ_B , φ_G és φ_E az összetevők térfogataránya. A modell által szolgáltatott értékek a mért viszkozitás értékektől való általános eltérése $\overline{AE} = 10,6945\%$, a korrelációs együtthatója pedig $R = 0,9965$. A modell pontossága további súlyozási tényezők alkalmazásával növelhető [6]:

$$\ln \nu_k = k_B \cdot \varphi_B \cdot \ln \nu_B + k_G \cdot \varphi_G \cdot \ln \nu_G + k_E \cdot \varphi_E \cdot \ln \nu_E, \quad (9)$$

ahol k_B , k_G és k_E a biodízel, a gázolaj és a bioetanol viszkozitására vonatkozó súlyozási tényezők, melyeknek értékeit úgy határoztuk meg, hogy a modell által szolgáltatott értékek és a mért adatok közötti általános eltérés legalacsonyabb legyen. Így, a $k_B = 1,0617$; $k_G = 0,9070$; $k_E = 0,9160$ értékekre a modell általános eltérése $\overline{AE} = 5,6923\%$, míg a korrelációs együtthatója $R = 0,9938$.

A logaritmus elhagyásával az előző modell egy súlyozott additív modellre egyszerűsödik [6]:

$$\nu_k = k_B \cdot \varphi_B \cdot \nu_B + k_G \cdot \varphi_G \cdot \nu_G + k_E \cdot \varphi_E \cdot \nu_E \quad (10)$$

A fenti modell általános eltérése a $k_B = 0,8961$; $k_G = 0,8788$; $k_E = 0,1051$ súlyozási tényezőkre a legkisebb, $\overline{AE} = 2,7228\%$, a korrelációs együttható értéke pedig $R = 0,9964$.

3.4. A felületi feszültség modellezése

A felületi feszültség mért értékei a 3. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy a keverékek felületi feszültsége a biodízel tartalom növekedésével egyenes arányban nő, míg a bioetanol tartalom növekedése ennek csökkenéséhez vezet. Lineáris regresszióval a kettős keverékek felületi feszültségének leírására a következő modellek alkalmazhatóak [5]:

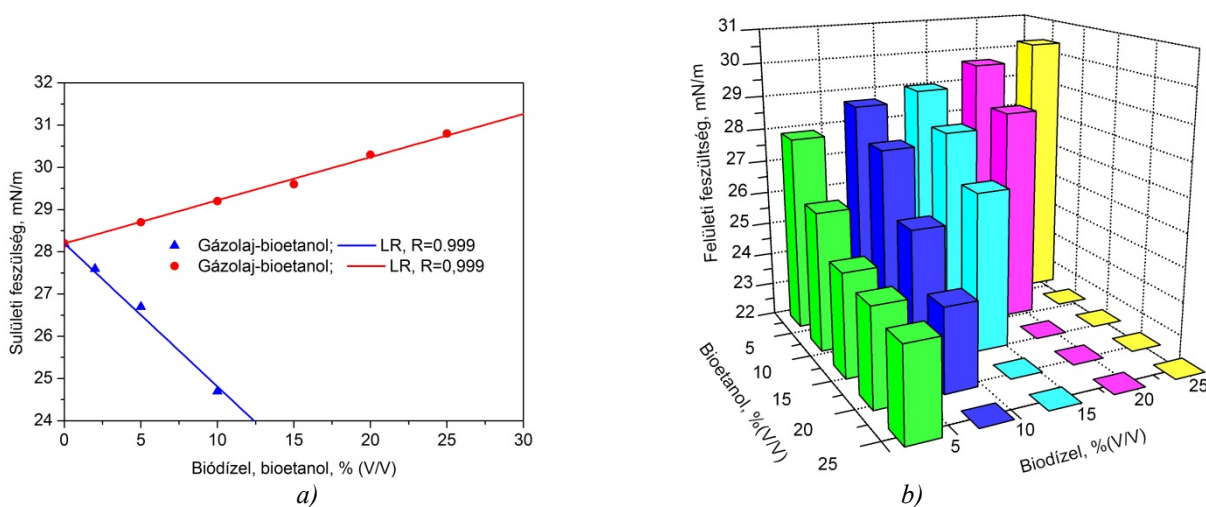
$$\sigma_{GE} = 28,2 - 33,88 \cdot \varphi_E, \text{ mN/m}; \quad (11)$$

$$\sigma_{BG} = 28,2 + 10,22 \cdot \varphi_B, \text{ mN/m}. \quad (12)$$

A hármas keverékek felületi feszültsége a következő, többszörös lineáris regresszióval megállapított egyenlettel modellezhető [5]:

$$\sigma_k^{20^\circ\text{C}} = 28,144 + 12,1942 \cdot \varphi_B - 20,2343 \cdot \varphi_E, \text{ mN/m}, \quad (13)$$

melynek általános eltérése $\overline{AE} = 1,281\%$, korrelációs együtthatója pedig $R = 0,932$. Következésképpen, 1% biodízel hozzáadása által okozott felületi feszültség-növekedés 0,6% etanol hozzáadásával kiegyenlíthető.



3. ábra

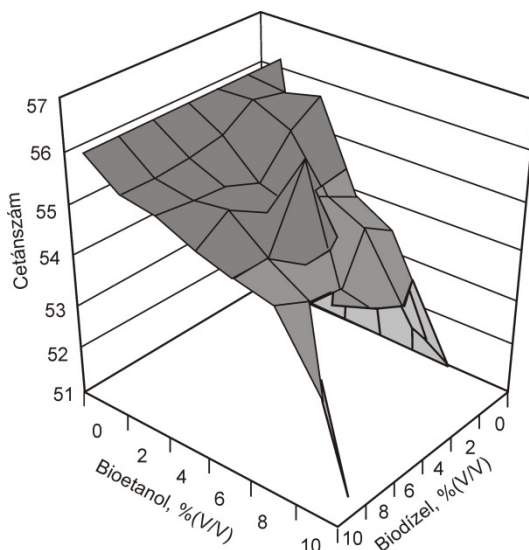
A kétkomponensű (a) és a hármas keverékek (b) felületi feszültsége 20 °C-on az összetétel függvényében

3.5. A cetánszám modellezése

A keverékek cetánszámának változását az összetételük függvényében a 4. ábra mutatja be. Megállapítható, hogy a bioetanol alacsony cetánszáma nagyban befolyásolja a keverékek cetánszámát. Többszörös lineáris regresszió a következő modellt eredményezte [12]:

$$CSz_k = CSz_G - 59 \cdot \varphi_E + 55 \cdot \varphi_B \quad (14)$$

ahol CSz_k és CSz_G a keverékek, illetve a gázolaj cetánszáma, míg a φ_E és φ_B a bioetanol, illetve a biodízel térfogataránya.

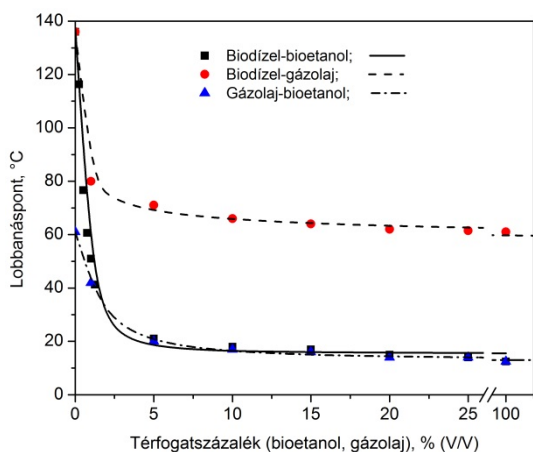


4. ábra

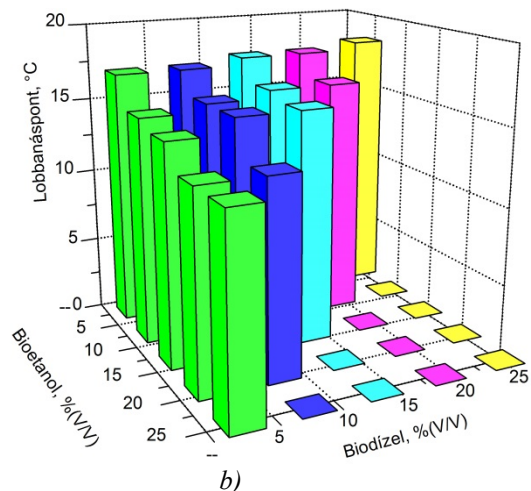
A keverékek cetánszámának alakulása ezek összetételének a függvényében.

3.6. A lobbanáspont modellezése

Kettős és hármas keverékek lobbanáspontjának változását az összetételük függvényében az 5. ábra szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a biodízel-gázolaj keverékek lobbanáspontja a gázolaj koncentráció növekedésével csökken, 25% gázolajtartalomnál gyakorlatilag egyenlő lesz a gázolaj lobbanáspontjával. Alacsonyabb lobbanáspontja miatt az etanol bekeverése sokkal gyorsabban csökkenti a biodízel-bioetanol és a gázolaj-bioetanol keverékek lobbanáspontját, 5-10%-os bioetanol tartalomtól a keverékek lobbanáspontja megközelíti a bioetanolét.



a)



b)

5. ábra

Kettős (a) és hármas (b) keverékek lobbanáspontjának változása az összetétel függvényében.

Megállapítható tehát, hogy a biodízel–gázolaj–bioetanol keverékek lobbanáspontját a bioetanol határozza meg. Az összes keverék lobbanáspontja 18 °C alatt van, ami azt jelenti, hogy a tanulmányozott keverékek környezeti hőmérsékleten veszélyesek. A kísérleti adatok alapján többszörös lineáris regresszióval a következő modellt határoztuk meg a keverékek lobbanáspontjának leírására [5]:

$$LP_k = 17,4 + 6 \cdot \varphi_B - 21 \cdot \varphi_E, \text{ °C.} \quad (15)$$

ahol LP_k a keverékek lobbanáspontja, míg a φ_E és φ_B a bioetanol, illetve a biodízel térfogataránya. A lobbanáspont-modell átlagos eltérése $\overline{AE} = 1,032\%$ korrelációs együtthatója pedig $R = 0,965$.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A sűrűség, a kinematikai viszkozitás és a felületi feszültség esetében a biodízel esetében mérhető nagyobb értékek jól kiegyenlíthetőek a bioetanolnál mért alacsonyabb értékekkel. A cetánszám esetében azonban, a bioetanol nagyon alacsony cetánszámát a biodízel a gázolajénál csupán pár számmal magasabb cetánszáma nem képes kompenzálni. Domináns hatás figyelhető meg a lobbanáspont alakulásában, aminél a keverékek lobbanáspontja gyakorlatilag csupán pár egységgel különbözik a bioetanolétól.

Ebben a tanulmányban olyan matematikai modelleket mutattuk be, melyek képesek a biodízel–gázolaj–bioetanol keverékek sűrűségének, viszkozitásának, felületi feszültségének, cetánszámának és lobbanáspontjának a becslésére az összetételük alapján. Az azonosított modellek lehetővé teszik az ilyen típusú hármas keverékek összetételének az optimalizálását, úgy, hogy ezek tulajdonságai minél jobban megközelítsék a gázolaj tulajdonságait maximális biohajtóanyag-tartalom mellett.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. BARABÁS, I. Predicting the temperature dependent density of biodiesel–diesel–bioethanol blends. *Fuel*, 2013, 109, 563-574.
2. BARABÁS, I. 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*, 2015, 204, 95-99.
3. BARABÁS, I., TODORUȚ, A., BÁLDEAN, D. Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel–biodiesel–bioethanol blends. *Fuel*, 2010, 89, 3827-3832.
4. BARABÁS, I., TODORUȚ, A., BÁLDEAN, D., SUCIU, F. Key fuel properties of biodiesel–diesel–bioethanol blends which influence the spray process. In: LEŠINSKÝ, J. (ed.) 12. EAEC European Automotive Congress, Bratislava, EAEC 2009. Bratislava, Slovak Republic: Slovak Society of Automotive Engineers Bratislava.
5. BARABÁS, I., TODORUȚ, I.A., ZÖLDY, M. The Potential of Biodiesel–Petrodiesel–Bioethanol Blends as an Alternative Fuel for Compression Ignition Engines. In: UMESH CHANDRA SHARMA, S. S., RAM PRASAD (ed.) *Energy Science and Technology*. Houston: Studium Press LL, C2015.
6. BARABÁS, I., TODORUȚ, I.A. Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel–diesel–bioethanol blends. *Energy & Fuels*, 2011, 25, 5767-5774.
7. SZABADOS, G., LOVAS, M. 2015. Gázolaj és biodízel tüzelőanyagok Diesel-motorban történő égési folyamatának szimulációja az AVL FIRE CFD szoftver segítségével. *Műszaki Szemle*, 2015, 66, 35-40.
8. TÖRÖK, Á. Theoretical estimation of the environmental impact of biofuel mixtures. *Transport*, 2009, 24, 26-29.
9. WILDE, G. Olajipari értelmező szótár. Budapest: Magyar Ásványolaj Szövetség, 2016. <http://www.petroleum.hu/jindex.html>
10. YUAN, W., HANSEN, A., ZHANG, Q., TAN, Z. Temperature-dependent kinematic viscosity of selected biodiesel fuels and blends with diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2005, 82, 195-199.
11. ZÖLDY, M. Megújuló hajtóanyag–gázolaj keverékek motorikus alkalmazásának műszaki, gazdasági és környezetvédelmi vizsgálata. PhD, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2007.
12. ZÖLDY, M. Ethanol–biodiesel–diesel blends as a diesel extender option on compression ignition engines. *Transport*, 2011, 26, 303-309.
13. ZÖLDY, M., TÖRÖK, Á. Road Transport Liquid Fuel Today and Tomorrow: Literature Overview. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2015, 43, 172-176.