

Biodyzelino, gauto naudojant sėjamųjų judrų aliejų, būvio ciklo rodikliai ir biologinis suirimas

Violeta Makarevičienė,

Eglė Sendžikienė

Aleksandro Stulginskio universitetas,
Fundamentinių mokslų studijų institutas,
Chemijos katedra,
Studentų g. 11,
LT-53361 Akademija, Kauno r.
El. paštas: agrotech@asu.lt

Siekiant sumažinti neigiamą biodyzelino gamybos poveikį maisto sektoriui, būtina biodyzelino gamybai naudoti alternatyvias aliejingasias / riebalingasias žaliavas ar / ir atliekas. Biodyzelinui keliamus reikalavimus atitinka metilesteriai, gauti iš sėjamųjų judrų aliejaus ir atliekinių riebalų mišinių santykiu 1 : 1. Nustatyta, kad būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklis (R_1) tiesiogiai priklauso nuo judrų derlingumo. Energijos kiekis, sunaudotas judrų aliejaus riebalų rūgščių metilesterių (JME) gamybai, yra didesnis už iš JME išgaunamą energijos kiekį (energijos veiksmingumo rodiklis mažesnis kaip 1), todėl esant $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ ir mažesniai judrų derliui, JME negalima priskirti atsinaujinantiems degalams. Riebalų rūgščių metilesteriai, gauti iš riebalingųjų atliekų, pasižymi didesnėmis energijos veiksmingumo rodiklio vertėmis, palyginti su JME. Atliekinių riebalų rūgščių metilesterių (AME) būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklis R_1 yra 4,94, o dvikomponenčių (JME-AME santykiu 1 : 1) degalų, kai judrų derlius $1,28 \text{ t ha}^{-1}$, $R_1 = 1,34$, o kai derlius $1,6 \text{ t ha}^{-1}$, $R_1 = 1,5$. Nustatyta, kad judrų aliejaus ir atliekinių riebalų rūgščių metilesterių mišiniai (santykiu 1 : 1) atitinka biodegalams keliamus biologinio suirimo reikalavimus, nes per 21 parą biologiškai suyra daugiau nei 90 % šių degalų.

Raktažodžiai: riebalų rūgščių metilesteriai, gyvavimo ciklas, energijos veiksmingumo rodikliai, biologinis suirimas

ĮVADAS

Biodegalai dyzeliniams varikliams visoje Europos Sąjungoje daugiausiai gaminami iš rapsų aliejaus. Intensyviai plečiantis biodyzelino gamybai, nuolat didėja rapsų gamybos žaliavos – sėklų poreikis. Rapsų aliejus yra naudojamas maistui, o dalį jo nukreipiant biodegalų gamybai didėja aliejaus kaina, kyla nepasitenkinimas visuomenėje, ima trūkti žaliavos tiek maisto, tiek techninėms reikmėms. Pastaruoju metu rapsų auginimo plotų plėtra dėl sėjomainos ir žemės tinkamumo rapsų auginimui yra ribota.

Siekiant sumažinti neigiamą biodyzelino gamybos poveikį maisto sektoriui, būtina biodyzelino gamybai naudoti alternatyvias aliejingasias / riebalingasias žaliavas ar / ir atliekas (Schwab et al., 1987; Tashtoush et al., 2004). Vienas iš tokių aliejingųjų

augalų – sėjamosios judros (*Camelina sativa* L.) (Vollmann et al., 2007). Dėl riebalų rūgščių sudėties (didelis polinesočiųjų rūgščių kiekis) (Abramovič et al., 2005; Peiretti, Meineri, 2007; Berti et al., 2011), judrų aliejaus riebalų rūgščių metilesteriai (JME) neatitinka apibrėžiančio biodyzelino kokybę standarto LST EN 14214 reikalavimų. Nustatyta, kad biodyzelinui keliamus reikalavimus atitinka metilesterių, gautų iš judrų aliejaus ir atliekinių riebalų, mišiniai santykiu 1 : 1 (Zaleckas et al., 2012). Lietuvoje susidaro gyvūninės kilmės sunkiai utilizuojamų atliekų, kurios ribotai panaudojamos. Gyvūninės kilmės atliekos perdirbamos įmonėje UAB „Rietavo veterinarinė sanitarija“ gaminant lydytus techninius riebalus, kuriuos galima būtų panaudoti biodyzelino gamybai.

Diegiant naujų rūšių biodegalų gamybą ir naudojimą, būtina įvertinti jų aplinkosauginius rodiklius

bei palyginti su atitinkamais įprastinio biodyzelino rodikliais. Biodegalais laikomi tokie degalai, kurių ne mažiau kaip 90 % suyra per 21 parą ir jų būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklis R_1 didesnis nei 1 (Biodiesel producers association, 1998), mineralinio dyzelino $R_1 - 0,885$. Dažniausiai naudojamo (kaip biodegalų) rapsų aliejaus riebalų rūgščių metilesterio (RME) energijos veiksmingumo rodiklis nustatytas daugelio šalių mokslininkų (Boo, 2003). Tirti ir kitų metilesterių, pagamintų iš įvairių aliejingųjų sėklų aliejaus (saulėgrąžų, jatrofų), energijos veiksmingumo rodikliai (Sheikh Davoodi et al., 2009; Kaewcharoensombat et al., 2011). Labiausiai energijos veiksmingumo rodiklių vertės svyruoja priklausomai nuo klimatinės sąlygų, ypač nuo derlingumo, gamybos technologijų. Tiriant biologinį rapsų aliejaus riebalų rūgščių metilesterių suirimą, nustatyta, kad 99,6 % suyra per 21 parą. O mišinys, kuriame buvo 20 % biodegalų, suyra du kartus greičiau negu grynas dyzelinas (Tyson et al., 2001; Atadashi et al., 2010).

Tačiau duomenų apie dvikomponenčių degalų energijos veiksmingumo rodiklius ar jų biologinį suirimą nepavyko rasti.

Šio darbo tikslas – įvertinti sėjamųjų judrų aliejaus ir gyvūninės kilmės riebalų rūgščių metilesterių būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklį, biologinį suirimą ir palyginti su atitinkamais įprastinio biodyzelino (rapsų aliejaus metilesterių) rodikliais.

METODAI IR SĄLYGOS

Energijos sąnaudos žemės ūkyje 1 t riebalų rūgščių metilesteriams (RRME) pagaminti nustatytos vertinant tiesiogines (energija, gauta iš iškastinių šaltinių) ir netiesiogines (įdaiktintas) energijos sąnaudas. Įdaiktintos energijos sąnaudos žemės ūkio mašinoms pagaminti, degalų sąnaudos nustatytos pagal Lietuvos agrarinės ekonomikos instituto pateiktus duomenis (Mechanizuotų žemės ūkio paslaugų įkainiai, 2012). Judroms išauginti naudojamų trąšų ir augalų apsaugos priemonių įdaiktintos energijos sąnaudos nustatytos pagal rekomenduojamas tręšimo normas (Karčiauskienė et al., 2012) bei naudojamų cheminių medžiagų energetinius ekvivalentus (Lal, 2004; Sheikh Davoodi et al., 2009). Vasarinėms judroms užauginti išberta $N_{90}P_{60}K_{60}$, gautas

derlius siekė 1,28–1,29 t ha⁻¹. Žieminėms judroms naudota trąšų $N_{100}P_{60}K_{60}$, derlius – 1,6 t ha⁻¹ (Referentil..., 1999; Karčiauskienė et al., 2012).

Sėjamųjų judrų sėklų ir gyvūninių riebalų perdirbimo į biodyzeliną energijos sąnaudos įvertintos pagal gamybos įrangos, įdiegtos UAB „Rapsola“, specifikaciją. Gamybos pajėgumai – 10000 t/metus⁻¹.

Būvio ciklo energijos veiksmingumo (R_1) rodiklis nustatytas pagal formulę:

$$R_1 = \frac{E_B}{E_{z.ū} + E_g};$$

čia: E_B – energija, išgaunama iš biodegalų, MJ t⁻¹ RRME; $E_{z.ū}$ – energijos sąnaudos judroms išauginti ir paruošti aliejaus spaudimui, MJ t⁻¹ RRME; E_g – energijos sąnaudos judrų aliejui spausti ir riebalinėms žaliavoms esterinti bei peresterinti, MJ t⁻¹ RRME.

Biodegalų šilumingumas nustatytas kalorimetru IKA C2000 Basic pagal standarto DIN 51900 reikalavimus (DIN 51900). Degalų ir jų mišinių biologinis suirimasis tirtas laikantis CEC L-33-T-82 degalų biologinio suirimo vandenyje nustatymų. Tiriama degalai buvo ištirpinami anglies tetrachloride (150 g l⁻¹), į mėginius pridėjama bakterinės kultūros ir inkubuojama nustatyta laiką. Kaip bakterinė kultūra imtas eliuentas po pirmosios nuotėkų įrenginių valymo (mechaninio) stadijos iš UAB „Kauno vandenys“. Jame buvo ne mažiau kaip 10⁶ CFU ml⁻¹ (CFU – koloniją matuojantis vienetas) bakterijų, kurių kiekis tirtas Dip Slide testu. Pasibaigus inkubavimo laikui, biodegalų mėginiai ekstrahuoti anglies tetrachlorinu ir likutinis nesuirusių degalų kiekis nustatytas infraraudonosios spektroskopijos metodu, prietaisu FT-IR spektrometru Spectrum GX (Perkin Elmer).

TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Nustatant riebalų rūgščių metilesterių (RRME) būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklį R_1 buvo įvertintos energijos sąnaudos žaliavoms užauginti, jas paruošti perdirbimui ir perdirbti į biodyzeliną. Pateiktos bendrosios energijos sąnaudos, reikalingos 1 t judrų aliejaus riebalų rūgščių metilesterių (JME) pagaminti (1 lentelė). Lietuvoje judros pramoniniu būdu dar neauginamos, pradiniai judrų

1 lentelė. Bendrosios energijos sąnaudos pagaminti 1 t JME

Table 1. Total energy consumption for 1 t JME production

Energijos poreikis / Energy demand	Bendrosios energijos sąnaudos MJ t ⁻¹ JME esant skirtingam judrų derlingumui Energy consumption MJ t ⁻¹ JME of Camelina sativa productivity			
	1,28 t ha ⁻¹	%	1,6 t ha ⁻¹	%
Žemės ūkis / Agriculture				
įdaiktinta energija ž. ū. mašinose ir įrenginiuose <i>agromachinery and equipment</i>	5 173,6	10,9	4 139,9	10,2
degalai ir tepalai / <i>fuel and oils</i>	9 704,2	20,5	7 763,3	19,1
įdaiktinta energija sėklose ir cheminėse medžiagose <i>seeds and chemicals</i>	18 146	38,3	14 453	35,5
Iš viso / <i>Total</i>	33 023,8	69,7	26 356,2	64,8
Spaudimo padalinys / Oil pressing				
elektros energija / <i>electricity</i>	4 117,7	8,7	4 117,7	10,1
įdaiktinta energija įrangoje / <i>equipment</i>	2 289	4,8	2 289	5,6
Iš viso / <i>Total</i>	6 406,7	13,5	6 406,7	15,7
Peresterinimo padalinys / Transesterification				
elektros energija / <i>electricity</i>	2 745,2	5,8	2 745,20	6,7
įdaiktinta energija įrangoje / <i>equipment</i>	1 807,8	3,8	1 807,80	4,4
įdaiktinta energija cheminėse medžiagose / <i>chemicals</i>	3 390,1	7,2	3 390,10	8,4
Iš viso / <i>Total</i>	7 943,1	16,8	7 943,10	19,5
Iš viso / <i>Grand Total</i>	47 373,6	100	40 706	100

auginimo tyrimai atlikti LAMMC Vėžaičių filiale. Šių tyrimų rezultatai atskleidė, kad sėjamųjų vasarinių judrų vidutinis derlingumas 1,28 t ha⁻¹, o žieminių – 1,60 t ha⁻¹.

Reikiamas kiekis judrų sėklų 1 t JME pagaminti buvo nustatytas pagal aliejaus kiekį judrų sėklose (39 %) ir riebalų rūgščių metilesterių išėigą, gaunamą taikant UAB „Rapsoila“ instaliuotą įrangą. Paaiškėjo, kad 1 t JME pagaminti reikia 2,9 t judrų sėklų.

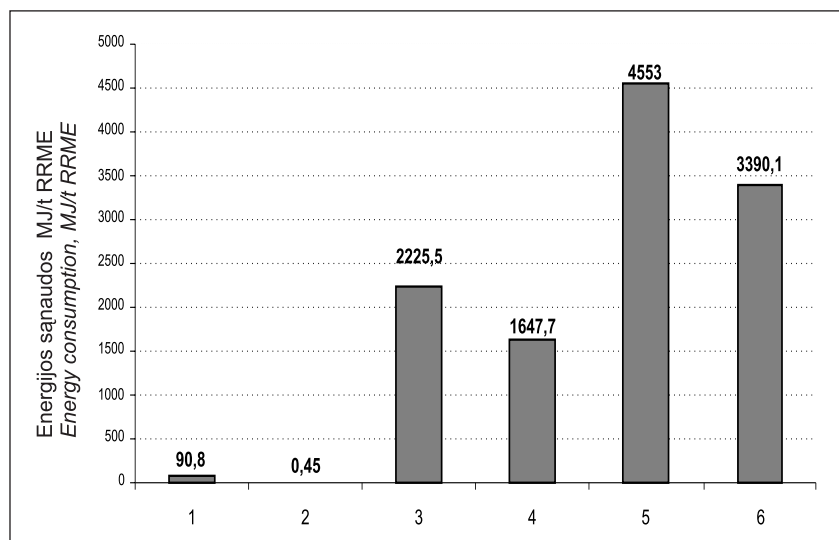
Iš pateiktų duomenų aišku, kad žemės ūkiui tenka didžiausia energijos sąnaudų dalis (64,8–69,7 %), palyginti su energijos sąnaudomis, tenkančiomis aliejaus spaudimui ir peresterinimui (1 lentelė). Didžiausią energijos sąnaudų dalį (35,5–38,3 %) nuo bendrų sąnaudų sudaro energija, įdaiktinta trąšose ir cheminėse medžiagose, naudojamose žemės ūkyje. Peresterinimo stadijoje energija, įdaiktinta cheminėse medžiagose, siekia 7,2–8,4 %.

Bendrosios energijos sąnaudos JME gamybai yra atvirkščiai proporcingos sėjamųjų judrų derlingumui. Esant 1,28 t ha⁻¹ judrų derlingumui, bendros energijos sąnaudos yra 47 373,6 MJ t⁻¹ JME, kai derlingumas 1,6 t ha⁻¹ – 40 706 MJ/t JME. Esant mažesniai derlingumui, energijos są-

naudos 1 t JME pagaminti padidėja 14 %. Tai lemia didesnės energijos sąnaudos žemės ūkyje tam pačiam judrų sėklų kiekiui išauginti.

Remiantis ankstesnių tyrimų rezultatais (Zaleckas et al., 2012) buvo nustatyta, kad gryną JME negalima naudoti degalams dyzeliniuose varikliuose, nes neatitinka standarto LST EN 14214 reikalavimų. Minėto standarto reikalavimus atitinka judrų aliejaus ir gyvūninių riebalų metilesterių mišiniai santykiu 1 : 1.

Atsižvelgiant į tai, kad gyvūninės kilmės riebalai yra atliekiniai, jų panaudojimas problematiškas, energijos sąnaudos jų gamybai nebuvo skaičiuotos. Tačiau sudėtingesnis ir energetiškai imlesnis biodyzelino iš atliekinių riebalų gamybos procesas. 1 t atliekinių gyvūninių riebalų rūgščių metilesterių gaunama iš 1 075 kg atliekinių riebalų, kuriuose vidutiniškai yra 2,6 % drėgmės. Riebalinių atliekų rūgštingumas yra didesnis kaip 2 %, todėl prieš tradicinį šarminį peresterinimą būtina esterinti laisvąsias riebalų rūgštis, t. y. gamybos procesas papildomas dar viena esterinimo (naudojant rūgščius katalizatorius) stadija. 1 pav. pateiktos energijos sąnaudos, tenkančios 1 t gyvūninės kilmės metilesterių ir riebalinių atliekų gamybai. Atliekinųjų riebalų peresterinimas yra tapatus judrų aliejaus



1 pav. Atliekinių riebalų 1 t metilesterių gamybos energijos sąnaudos:

1 – džiovinimas, 2 – filtravimas, 3 – esterinimo padalinys (elektros energija, įranga), 4 – esterinimo padalinys (cheminėse medžiagose), 5 – peresterinimo padalinys (elektros energija, įranga), 6 – perseterinimo padalinys (cheminėse medžiagose)

Fig. 1. Total energy consumption for 1 t animal waste methyl esters production: 1 – Drying, 2 – Filtering, 3 – Esterification (electricity, equipment), 4 – Esterification (chemicals), 5 – Transesterification (electricity, equipment), 6 – Transesterification (chemicals)

peresterinimui, todėl peresterinimo sąnaudos imtos tokios pat, kaip ir judrų aliejaus riebalų rūgščių metilesterių (JME) gamybai.

Atliekinių riebalų metilesterių (AME) gamyboje didžiąją bendrųjų energijos sąnaudų dalį, net 42,3 %, sudaro esterinimui ir peresterinimui naudojamose cheminėse medžiagose įdaiktinta energija. Atliekinių riebalų paruošimo esterinimui ir peresterinimui operacijos reikalauja palyginti mažai išskastinės energijos (0,76 % bendrųjų energijos sąnaudų). Nors papildoma atliekinių riebalų esterinimo operacija reikalauja 3 873,2 MJ t⁻¹ energijos (32,8 % bendrųjų sąnaudų), tačiau bendrosios energijos sąnaudos (gaminant AME) yra 5,2–6 mažesnės, palyginti su JME gamyba. 1 t AME pagaminti reikalinga 8 034,03 MJ bendrosios energijos sąnaudų.

Įvertintos energijos sąnaudos 1 t optimalios sudėties mišinio JME-AME gamybai, kuri priklauso nuo judrų derlingumo (2 lentelė).

Vertinant bendrąsias energijos sąnaudas dvikomponenčių degalų JME-AME (1 : 1) gamyboje nustatyta, kad žemės ūkiui tenka daugiau kaip 50 % visų energijos sąnaudų, todėl judrų derlingumas yra vienas svarbiausių faktorių, darančių įta-

ką bendrosioms energijos sąnaudoms biodyzelino būvio cikle. Kai judrų derlingumas yra 1,28 t ha⁻¹, sąnaudos žemės ūkyje – 16 511,9 MJ t⁻¹, o esant 1,6 t ha⁻¹ derlingumui, energijos sąnaudos žemės ūkyje yra 20 % mažesnės ir siekia 13 178,1 MJ t⁻¹.

Norint nustatyti gyvavimo ciklo energijos veiksmingumo rodiklį, įvertintos riebalų rūgščių metilesteriuose ir jų mišiniuose sukauptos energijos vertės (šilumingumas), kurios buvo:

JME-AME (1 : 1) mišinio – 39,68 MJ kg⁻¹;

AME – 39,7 MJ kg⁻¹;

JME – 38,79 MJ kg⁻¹.

Nustatytos riebalų rūgščių metilesterių būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklio vertės AME R₁ – 4,94, JME R₁ – 0,82 (kai derlingumas 1,28 t/ha) ir 0,95 (kai derlingumas 1,6 t/ha). Energijos kiekis, sunaudotas JME gamybai, yra didesnis už iš JME gaunamą energijos kiekį (energijos veiksmingumo rodiklis mažesnis kaip 1), todėl gryniesi judrų aliejaus riebalų rūgščių metilesteriai negali būti priskiriami atsinaujinantiems degalams.

Įvertintas ir dvikomponenčių (JME-AME) degalų, atitinkančių standarto LST EN 14214

2 lentelė. Bendrosios energijos sąnaudos 1 t JME-AME (1 : 1) gamybai

Table 2. Total energy consumption for 1 t JME-AME (1 : 1) production

Energijos poreikis / Energy demand	Energijos sąnaudos MJ t ⁻¹ JME-AME (1 : 1), kai judrų derlingumas t ha ⁻¹ ir % Energy consumption MJ t ⁻¹ JME-AME (1 : 1) of Camelina sativa productivity			
	1,28 t ha ⁻¹	%	1,6 t ha ⁻¹	%
Žemės ūkis (judrų auginimas) <i>Agriculture (Camelina sativa growing)</i>	16 511,9	55,7	13 178,1	50,09
Sėklų spaudimo padalinys / Seed pressing	3 203,35	10,8	3 203,35	12,18
Riebalų ruošimo padalinys <i>Animal fat waste preparation</i>	45,6	0,2	45,6	0,17
Esterinimo padalinys / Esterification	1 936,6	6,5	1 936,6	7,36
Peresterinimo padalinys / Transesterification	7 943,1	26,8	7 943,1	30,2
Iš viso / Total	29 640,55	100	26 306,75	100

reikalavimus, būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklis (esant judrų derlingumui 1,28 t ha⁻¹). Jis siekė 1,34, o esant derlingumui 1,6 t ha⁻¹, šio rodiklio vertė buvo 1,5.

Vadinasi, dvikomponenčiai degalai, į kurių sudėtį įeina judrų aliejaus ir atliekinių riebalų metilesteriai santykiu 1 : 1, atitinka biodegalams keliamus reikalavimus: iš jų išgaunama daugiau energijos nei sunaudojama juos pagaminti.

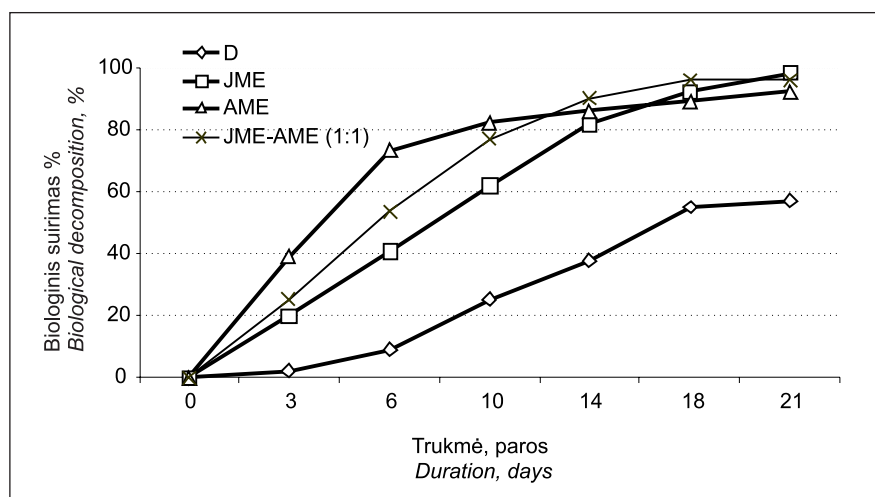
Svarbus biodegalų aplinkosauginis rodiklis – jų biologinis suirimas gamtinėje aplinkoje. Palyginamieji JME, AME ir JME-AME (1 : 1) biologinio suirimo tyrimų duomenys pateikiami 2 pav.

Iš gautų duomenų matyti, kad per 21 parą suiro 92,5 % AME, 98,3 % JME ir 96,3 % JME-AME

(1 : 1). Paveiksle pavaizduota degalų biologinio suirimo dinamika rodo, kad atliekinių riebalų rūgščių metilesteriai (AME) pirmas 6 paras iro labai sparčiai, vėliau procesas sulėtėjo, o grynujų judrų riebalų rūgščių metilesterių (JME) irimas iki 15 paras buvo tolygus ir tik vėliau sulėtėjo. Biodegalams gali būti priskirti visi tirti riebalų rūgščių metilesteriai, nes jų biologinis suirimas per 21 parą siekė daugiau nei 90 % ir buvo apie 1,5 karto greitesnis nei mineralinio dyzelino (D).

IŠVADOS

1. Būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklis (R_1) tiesiogiai priklauso nuo judrų derlingumo.



2 pav. Degalų biologinio suirimo dinamika

Fig. 2. Dynamics of fuel biological decomposition

Energijos kiekis, sunaudotas judrų aliejaus riebalų rūgščių metilesterių (JME) gamybai, yra didesnis už iš JME išgaunamą energijos kiekį (energijos veiksmingumo rodiklis mažesnis kaip 1), todėl esant $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ ir mažesniai judrų derliui JME negalima priskirti atsinaujinantiems degalams.

2. Riebalų rūgščių metilesteriai, gauti iš riebalinųjų atliekų, pasižymi didesnėmis energijos veiksmingumo rodiklio vertėmis, palyginti su JME. Atliekinių riebalų rūgščių metilesterių (AME) būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklis R_1 – 4,94.

3. Dvikomponenčių (JME-AME santykiu 1 : 1) degalų būvio ciklo energijos veiksmingumo rodiklis, esant judrų derlingumui $1,28 \text{ t ha}^{-1}$, siekia – 1,34. Kai derlingumas $1,6 \text{ t ha}^{-1}$, šio rodiklio vertė yra 1,5. Vadinas, šie degalai atitinka biodegalams keliamus reikalavimus.

4. Judrų aliejaus ir atliekinių riebalų rūgščių metilesterių mišiniai (santykiu 1 : 1) atitinka biodegalams keliamus biologinio suirimo reikalavimus: per 21 parą biologiškai suiro daugiau nei 90 % šių degalų, o jų suirimo greitis yra apie 1,5 karto didesnis nei mineralinio dyzelino.

Padėka. Tyrimą finansuoja Europos socialinio fondo agentūra ir Lietuvos Valstybė (Nr. VP1-3.1. – ŠMM-06-V-01-003). Autoriai dėkingi už pagalbą.

Gauta 2012 06 05
Priimta 2012 11 08

LITERATŪRA

1. Abramovič H., Abram V. 2005. Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil. *Food Technology and Biotechnology*. Vol. 43. No. 1. P. 63–70.
2. Atadashi I. M., Aroua M. K., Abdul Aziz A. 2010. High quality biodiesel and its diesel engine application: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14. No. 7. P. 1999–2008.
3. Berti M., Wilckens R., Fischer S., Solis A., Johnson B. 2011. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile. *Industrial Crops and Products*. Vol. 34. P. 1358–1365.
4. Boo W. 1993. Environmental and energy aspects of liquid biofuels. *Zentrum vor energiebesparing and schone technologie*. No. 2. 148 p.
5. DIN 51900: 2005. *Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes*.
6. *Industrial Use of Rape for Biodiesel in Czech Republic*. 1998. Praha: Biodiesel Producers Association.
7. Karčauskienė D., Repšienė R., Zaleckas E. ir kt. 2012. *Sėjamosios judros – žaliava biodyzelino gamybai*. AB Kopa. 42 p.
8. Lal R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*. Vol. 30. P. 981–990.
9. LST EN 14214. *Automobiliniai degalai. Riebalų rūgščių metilesteriai (RRME) dyzeliniams varikliams. Reikalavimai ir tyrimo metodai*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2010.
10. LST EN 14918.
11. *Mechanizuotų žemės ūkio paslaugų įkainiai*. 2012. I dalis. Pagrindinio žemės dirbimo darbai. II dalis. Pasėlių priežiūra ir šienapjūtės darbai. III dalis. Derliaus nuėmimo darbai. Vilnius: Lietuvos agrarinės ekonomikos institutas.
12. Peiretti P. G., Meineri G. 2007. Fatty acids, chemical composition and organic matter digestibility of seeds and vegetative parts of false flax (*Camelina sativa* L.) after different lengths of growth. *Animal Feed Science and Technology*. Vol. 133. P. 341–350.
13. *Referentil pour le calcul des bilans energetiques*. 1999. Fichier Brochurb. 52 p.
14. Schwab A. W., Bagby M. O., Freedmann B. 1987. Preparation and properties of diesel fuel from vegetable oils. *Fuel*. Vol. 66. P. 1372–1378.
15. Sheikh Davoodi M. J., Houshyar E. 2009. Energy consumption of canola and sunflower production in Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. Vol. 6. P. 381–384.
16. Tashtoush G., Al-Widyan M. I., Al-Jarrah M. M. 2004. Experimental study on evaluation and optimization of conversion of waste animal fat into biodiesel. *Energy Conversion and Management*. Vol. 45. P. 2697–2711.
17. Tyson Shaine K. 2001. *Biodiesel Handling and Use Guidelines. Report No. NREL/TP-580-30004*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
18. Vollmann J., Moritz T., Kargl C., et al. 2007. Agronomic evaluation of camelina genotypes selected for seed quality characteristics. *Industrial Crops and Products*. Vol. 26. No. 3. P. 270–277.
19. Zaleckas E., Makarevičienė V., Sendžikienė E. 2012. Possibilities of using *Camelina sativa* oil for producing biodiesel fuel. *Transport*. Vilnius. Vol. 27. No. 1. P. 60–66.

Violeta Makarevičienė, Eglė Sendžikienė

LIFE CYCLE PARAMETERS AND BIOLOGICAL DEGRADATION OF BIODIESEL FUEL PRODUCED BY USED *CAMELINA SATIVA* OIL

Summary

Aiming to decrease the negative impact of biodiesel fuel production on the food sector it is necessary to use the resources of oil products or waste materials. Mixtures of fatty acid methyl esters of *Camelina sativa* oil and waste fat in proportion of 1 : 1 meet the quality requirements for biodiesel fuel. It was determined that the value of the life cycle energy efficiency indicator (R_1) of this fuel is directly proportional to the *Camelina sativa* productivity. Energy demand for the production of *Camelina sativa* oil methyl esters (JME) is higher than energy accumulated in JME (value of energy efficiency indicator is lower than 1),

therefore when productivity of *Camelina sativa* seeds is equal and lower than 1.6 t/ha^{-1} , JME could not be referred as renewable fuel. The values of the energy efficiency indicator for fatty acid methyl esters produced from waste animal fat are higher comparing with that of JME. For animal waste methyl esters (AME) the value of R_1 is 4.94. For two-component fuel mixture (JME-AME in proportion of 1 : 1) the value of the energy efficiency indicator in case of 1.28 t/ha^{-1} productivity of *Camelina sativa* seeds equals to 1.34, when productivity is 1.6 t/ha^{-1} , R_1 is 1.5. It was found that mixtures of *Camelina sativa* oil and waste fat methyl esters (in proportion of 1 : 1) meet the requirements of biological degradation for biofuel: more than 90% of this mixture biologically degraded in 21 days.

Key words: fatty acid methyl esters, life cycle, efficiency indicator, biological degradation