

SINTETINIAM DYZELINUI GAMINTI RUOŠIAMOS DRAMBLIAŽOLĖS (*MISCANTHUS*) FIZIKINIŲ-MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

INVESTIGATION OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF MISCANTHUS FOR THE PRODUCTION OF SYNTHETIC DIESEL FUEL

Remigijus Zinkevičius, Algirdas Jasinskas, Saulius Urbonas

Aleksandro Stulginskio universitetas,
Studentų 11, LT-53361, Akademija, Kauno r.
El. paštas Remigijus.Zinkevicius@asu.lt

Gauta 2013-02-21, pateikta spaudai 2013-09-02

Ieškant alternatyvių energijos šaltinių, žaliavų sintetiniam dyzelinui gaminti fizikinių-mechaninių savybių tyrimai yra labai aktualūs. Šios savybės yra svarbios ruošiant žaliavą bei ją transportuojant. Nuo jų priklauso žaliavos ruošos, sandėliavimo, pervežimų logistika, konversijos technologijų ir įrenginių parinkimas bei eksploatavimas.

Šiame darbe atlikti drambliažolės (*Miscanthus*), ruošiamos sintetiniam dyzelinui gaminti, fizikinių-mechaninių savybių tyrimai. Nustatytos susmulkintintos ir sumaltos drambliažolės fizikinės-mechaninės savybės (byrėjimo kampai ir dinaminės trinties koeficientas).

Tirtų žaliavų sintetiniam dyzelinui gaminti birumo kampai skyrėsi nežymiai. Didėjant drambliažolės pjaustinio apkrovai ir judėjimo greičiui, dinaminės trinties koeficientas, atitinkamai ir sienelės nuolydžio kampas, mažėja. Didėjant Lietuvoje užaugintos, būgniniu smulkintuvu susmulkintos, išdžiovintos ir malūnu sumaltos drambliažolės pjaustinio apkrovai nuo 1 iki 31 N, kai judėjimo greitis $0,022 \text{ m s}^{-1}$, dinaminės trinties koeficientas slystant mediniu paviršiumi sumažėja nuo 0,969 iki 0,512, plastikiniu – nuo 0,482 iki 0,317, metaliniu – nuo 0,506 iki 0,274. Didėjant Lietuvoje užaugintos, būgniniu smulkintuvu susmulkintos, išdžiovintos ir malūnu sumaltos drambliažolės pjaustinio judėjimo greičiui nuo $0,022$ iki $0,081 \text{ m s}^{-1}$, kai pjaustinio apkrova 31 N, dinaminės trinties koeficientas slystant mediniu paviršiumi sumažėjo nuo 0,512 iki 0,488, plastikiniu – nuo 0,317 iki 0,293, metaliniu – nuo 0,274 iki 0,265.

Dramblyžolė (miscanthus), fizikinės-mechaninės savybės, dinaminės trinties koeficientas.

Įvadas

Europos Komisija, nors ir ragindama tobulinti pirmosios kartos biodegalų gamybos technologijas, siekdama padidinti jų konkurencingumą rinkoje, vis dėlto didžiausią svarbą teikia antrosios kartos biodegalų gamybos tyrimams ir diegimui jau artimiausioje ateityje. Tai susiję su dideliu celiuliozės turinčių žaliavų, įskaitant atliekas, potencialu bei geromis antrosios kartos biodegalų savybėmis [1, 2, 3].

Įgyvendinama numatytus uždavinius, Europos Komisija antrosios kartos (sintetinių) degalų mokslinius tyrimus įtraukė į pagrindines mokslinių tyrimų programas (BP7, Energijos sritis, „Intelligent energy“ ir pan.), šiuo metu jau pradėti kai kurie tyrimai, susiję biomasės panaudojimu antrosios kartos degalų gamyboje, o sukurtos technologijos bandomos diegti pramonėje [1, 4].

Lietuvoje pradiniai antrosios kartos biodegalų gamybos tyrimai buvo vykdomi įgyvendinant Pramoninės biotechnologijos plėtros Lietuvoje 2007–2010 metų programą, tačiau jų rezultatų dar nepakanka eksperimentinių technologijų diegimui mūsų šalies įmonėse [5, 6, 7, 8, 9].

Literatūros apžvalga

Katalizinės dyzelino sintezės metu, skirtingai nuo žinomų biomasės skaidymo procesų, organinės medžiagos konvertuojamos ne iki metano molekulių ir anglies, o iki CH_2 radikalų su galimybe reguliuoti angliavandenilių grandinės ilgį. Šis procesas leidžia išvengti kenksmingų ir teršiančių aplinką medžiagų, kurios aukštoje temperatūroje gali formuoti dioksinus ir furaną [10].

Biomasės išteklius galima suskirstyti į dvi grupes:

1) sąlyginai sausa biomasė (drėgnis 15–20 %):

- kurui skirta mediena ir jos atliekos;
- greitai augantys sumedėję augalai;
- šiaudai;
- durpės.

2) sąlyginai drėgna biomasė (drėgnis 70–95 %):

- žolės;
- greitai augantys žoliniai augalai (topinambai, kiniškos nendrės, drambliažolė ir pan.);
- nuotekų dumblas;
- mėšlas, gyvūninės kilmės (kritusių gyvulių) atliekos;
- etanolio gamybos atliekos – spirito žlaugtai.

Drambliažolė (*Miscanthus*) yra miglinių (*Poaceae*) šeimos *Miscanthus spp.* genties augalas. Hibridas *Miscanthus x giganteus Greef et Deuter* buvo sukurtas 1993 metais. Šie augalai fiziologiškai priklauso trumpadieniams. Natūraliai drambliažolės auga Afrikos ir Pietų Azijos subtropikuose ir tropikuose, taip pat Rytų Azijos vidutinio klimato juostoje, nuo Ramiojo vandenyno salynų (Okeanijos) iki Japonijos kalnynų ir Himalajų [11].

Drambliažolių pranašumais prieš kitus energetinius augalus neabejojama šiltesnio klimato zonose, tačiau šiaurės šalyse tyrėjų vertinimai yra įvairūs. Švedijoje, Danijoje, Anglijoje, Vokietijoje ir Portugalijoje tirtų 15 *Miscanthus* genotipų apibendrinti duomenys rodo, kad jų sausos biomasės derlius kiekvienais metais didėja, nuo 2 t·ha⁻¹ pirmaisiais metais iki 9–18 t·ha⁻¹ antraisiais ir trečiaisiais metais. Atskirų hibridų numerių biomasė siekė iki 29 t·ha⁻¹, o Portugalijoje net iki 40,9 t·ha⁻¹ [12].

Drambliažolių (*Miscanthus x giganteus*) hibrido didelis privalumas yra jų ilgas produktyvusis amžius ir plačios biomasės panaudojimo galimybės [12, 13, 14, 15].

Drambliažolių biomasė šiltesnio klimato šalyse, kur trumpai laikosi sniego danga arba iš viso jo nebūna, pjaunama įvairiai, pradedant rudenį biodegalų ir biodujų gamybai ir baigiant ankstyvą pavasarį iki neprasisėjusi vegetacija, granuliu ir briketų gamybai [13, 16, 17].

Daugiamečių žolių deginimui skirtos biomasės šilumingumas tiesiogiai priklauso nuo ląstelienos kiekio. Drambliažolių stiebų dalis bendroje biomasėje labiau negu lapai lemia ląstelienos ir anglies kiekius ir apsprendžia biomasės energetines savybes. Vidutinis 15 proc. drėgnio augalinės biomasės – eraičinų, grūdų, drambliažolių, tarp jų ir šiaudų, šilumingumas svyruoja nuo 13,6 iki 14,6 MJ/kg, o tokio pat drėgnio medžių vidutinis šilumingumas yra 15,6 MJ/kg [18, 19].

Kryživičienė [18] teigia, kad Lietuvoje drambliažolių auginimo tyrimų, atliktų 2007–2009 metais Dotnuvoje, derlius kito nuo 10,5 iki 11,5 t/ha, žaliosios biomasės – nuo 27 iki 29,75 t/ha. Čekijoje iš drambliažolės plantacijų gautas 165 GJ/ha lyginamasis energijos kiekis, Vokietijoje –156 GJ/ha [10].

Drambliažolių, ruošiamų sintetiniam dyzelinui gaminti, fizikinės-mechaninės savybės Lietuvoje netyrinėtos.

Tyrimų tikslas ir uždaviniai

Tyrimų tikslas – nustatyti drambliažolės (*Miscanthus*), ruošiamos sintetiniam dyzelinui gaminti, fizikines-mechanines savybes (birumo kampus, dinaminės trinties koeficientą). Tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

- atlikti drambliažolės auginimo ir paruošimo sintetiniam dyzelinui gaminti mokslinių tyrimų apžvalgą;
- sudaryti tyrimų metodiką;
- atlikti drambliažolės (*Miscanthus*), ruošiamos sintetiniam dyzelinui gaminti, fizikinių-mechaninių savybių (birumo kampai, dinaminės trinties koeficientas) tyrimus.

Objektas ir metodika

Tyrimų objektas – drambliažolė (*Miscanthus*) užauginta LAMMC Žemdirbystės institute, Dotnuvoje, ir drambliažolė, kuri sintetiniam dyzelinui gaminti buvo paruošta Vokietijoje. Vokiška žaliava sintetiniam dyzelinui gaminti buvo gauta iš firmos „Alphakat GmbH“ demonstracinės įmonės. Ji buvo supakuota 5 kg plastikiniame maišelyje. LAMMC Žemdirbystės institute užauginta drambliažolė 2011 spalio 19 dieną buvo nupjauta ir susmulkinta būgniniu smulkintuvu „Maral – 125“ (2 variantas). Po to ši žaliava buvo džiovinama iki 8 proc. drėgnio (3 variantas) ir sumalta malūnu „Retsch SM 200“ (4 variantas). 5 variantas buvo 2012 kovo 5 dieną nupjauta susmulkinta būgniniu smulkintuvu „Maral – 125“ drambliažolė. Lietuvoje užauginta žaliava lyginta su Vokietijoje sintetiniam dyzelinui gaminti paruošta drambliažole (1 variantas).

Drambliažolės pjaustinio natūralaus šlaito ir griūties kampams nustatyti naudotas stendas [19]. Pjaustinys buvo supilamas į stačiakampio formos indą. Atidarius sklendę, ant grindų išblyrėdavo tam tikra dalis drambliažolės pjaustinio. Liniuote su matlankiu inde likusiame pjaustinyje buvo matuojamas griūties kampas α_{gr} , o ant grindų išblyrėjusiame pjaustinyje – natūralaus šlaito kampas α_n .

Dozatorių, kaupimo bunkerių sienelių, perpylimo latakų posvyrio kampas parenkamas atsižvelgiant į birių medžiagų fizikines-mechanines savybes. K. V. Alferovo tyrimais nustatyta, kad optimalus nuolydžio kampas α_1 priklauso tik nuo birios medžiagos trinties koeficiento su bunkerio sienelėmis f_1 [19]:

$$\cos \alpha_1 = \sqrt{\sqrt{4 f_1^4 + 1} - 2 f_1^2}. \quad (1)$$

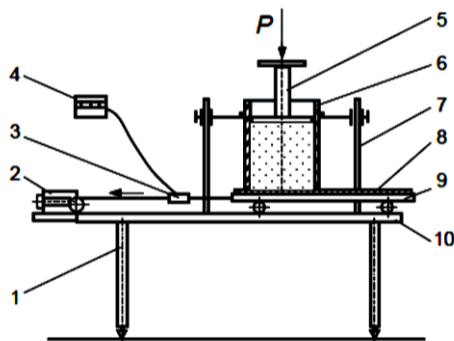
Trinties koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f_1 = \frac{F_t}{F_0}, \quad (2)$$

čia: F_t – trinties jėga, N;

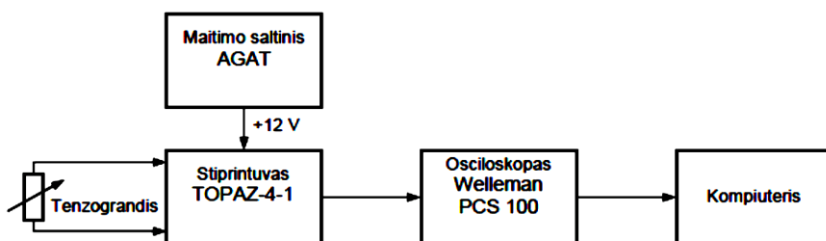
F_0 – normalinio slėgio jėga, N.

Trinties koeficientui nustatyti naudotas specialus stendas (1 pav.). Į cilindrinį indą, kurio dugno plotas $16,5 \text{ cm}^2$, buvo įpilama 100 g drambliažolės pjaustinio. Tarp indo sienelių ir bandomo paviršiaus buvo paliekamas 2 mm tarpelis. Trinties jėga nustatyta tenzometriniu plieniniu žiedu. Bandomas paviršius buvo traukiamas traukimo mechanizmu, o duomenys išsaugojami kompiuteryje (2 pav.). Drambliažolės pjaustinio apkrova buvo keičiama 1 kg svarmenimis, o bandomo paviršiaus judėjimo greitis – jo traukimo mechanizmu.



1 pav. Stendo, skirto drambliažolės pjaustinio trinties (sukibimo) su įvairiais paviršiais koeficientui nustatyti, schema: 1 – reguliuojamo aukščio atramos; 2 – cilindro traukimo mechanizmas; 3 – tenzometriniu žiedu; 4 – savirašis matavimo prietaisas; 5 – papildomas svoris; 6 – $16,5 \text{ cm}^2$ skerspjūvio ploto cilindras; 7 – kreipiamosios; 8 – tiriamas paviršius; 9 – vežimėlis; 10 – rėmas

Fig. 1. The scheme of stand for determination of elephant grass frictional (adhesion) coefficient with different surfaces



2 pav. Tyrimų rezultatų registravimo prietaisai

Fig. 2. The device for registration of experimental results

Rezultatai ir jų analizė

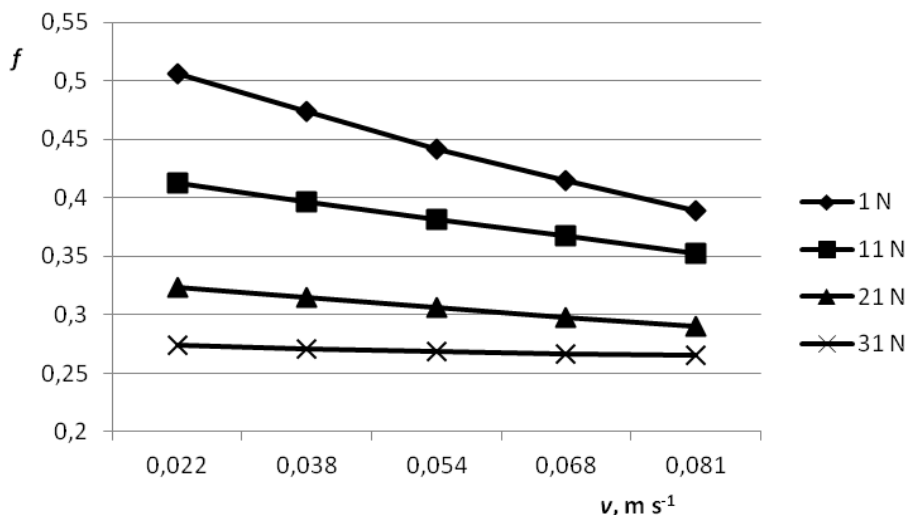
Tirtų žaliavų sintetiniam dyzelinui gaminti birumo kampai skyrėsi nežymiai (1 lentelė). Nustatyta, kad Vokietijoje paruoštos drambliažolės natūralaus šlaito kampas buvo $40^{\circ} \pm 9^{\circ}$, Lietuvoje užaugintos, 2011 m. spalio 19 d. nupjautos ir būgniniu smulkintuvu *Maral – 125* susmulkintos – $29^{\circ} \pm 10^{\circ}$, padžiovintos – $31^{\circ} \pm 7^{\circ}$, o padžiovintos ir sumaltos malūnu „*Retsch SM 200*“ – $34^{\circ} \pm 7^{\circ}$. Lietuvoje užaugintos, 2012 m. kovo 5 d. nupjautos ir būgniniu smulkintuvu „*Maral-125*“ susmulkintos drambliažolės natūralaus šlaito kampas buvo $47^{\circ} \pm 11^{\circ}$. Tirtos drambliažolės griūties kampai, atitinkamai, buvo $88^{\circ} \pm 7^{\circ}$ (1 variantas), $92^{\circ} \pm 3^{\circ}$ (2 variantas), $89^{\circ} \pm 3^{\circ}$ (3 variantas), $69^{\circ} \pm 5^{\circ}$ (4 variantas) ir $90^{\circ} \pm 14^{\circ}$ (5 variantas).

1 lentelė. Tirtos drambliažolės paruoštos sintetiniam dyzelinui gaminti birumo kampai

Table 1. Flow angles of elephant grass prepared for synthetic diesel production

Tirtos drambliažolės varianto numeris	Natūralaus šlaito kampas α_n , laipsn.	Griūties kampas α_{gr} , laipsn.
1	40 ± 9	88 ± 7
2	29 ± 10	92 ± 3
3	31 ± 7	89 ± 3
4	34 ± 7	69 ± 5
5	47 ± 11	90 ± 14

Atlikus Lietuvoje užaugintos drambliažolės, kuri buvo nupjauta, susmulkinta būgniniu smulkintuvu *Maral – 125*, išdžiovinta iki $\omega = 8,59\%$ ir sumalta malūnu „*Restch SM 200*“ (4 variantas), dinaminės trinties tyrimus buvo nustatyta, kad slystant metaliniu paviršiumi trinties koeficientas didėjant judėjimo greičiui mažėja (3 pav.). Pavyzdžiui, dinaminės trinties koeficientas f , kai $N_0 = 1$ N didėjant greičiui nuo 0,022 iki 0,081 m/s sumažėjo nuo 0,506 iki 0,389 (apie 23 proc.), o esant normalinio slėgio jėgai $N_0 = 31$ N, tik nuo 0,274 iki 0,265 (tik apie 3 proc.).



3 pav. Dinaminės trinties koeficientas Lietuvoje užaugintai, susmulkintai, išdžiovintai ir sumaltai drambliažolei slystant metaliniu paviršiumi: apkrova 1 N – $f = -1,975v + 0,549$, $R^2 = 0,931$; 11 N – $f = -1,007v + 0,435$, $R^2 = 0,902$; 21 N – $f = -0,579v + 0,337$, $R^2 = 0,878$; 31 N – $f = -0,151v + 0,277$, $R^2 = 0,967$

Fig. 3. The dynamic frictional coefficient of grown in Lithuania, chopped, dried and milled elephant grass sliding along the wooden surface

Panašūs rezultatai gauti ir drambliažolei (4 variantas) slystant mediniu ir plastikiniu paviršiais (2 lentelė). Dramblicholės pjaustiniui slystant mediniu paviršiumi dinaminės trinties koeficientas buvo didžiausias 0,968. Maksimalus dinaminės trinties koeficientas gautas esant 1 N dramblicholės pjaustinio apkrovai ir 0,022 m/s jo judėjimo greičiui. Dramblicholės pjaustiniui 0,022 m/s greičiu slystant metaliniu paviršiumi ir esant 1 N apkrovai dinaminės trinties koeficientas buvo 0,506, o plastikiniu – 0,482. Atitinkamai esant 31 N apkrovai ir 0,022 m/s greičiui dinaminės trinties koeficientai būtų tokie: medžiui – 0,512, metalui – 0,274, o plastikui – 0,317.

2 lentelė. Būgniniu smulkintuvu susmulkintos, džiovintos ir malūnu sumaltos drambliažolės (4 variantas) dinaminės trinties tyrimų rezultatai

Table 2. Research results of dynamic friction of chopped by drum chopper, dried and milled elephant grass (4 variant)

Slydimopaviršius	Vežimėlio judėjimo greitis v , $m\ s^{-1}$	Dinaminės trinties koeficientas f , veikiant normalinio slėgio jėgai			
		1 N	11 N	21 N	31 N
medis		$f = -2,96v + 1,033$, $R^2 = 0,996$	$f = -2,16v + 0,897$, $R^2 = 0,896$	$f = -1,112v + 0,604$, $R^2 = 0,824$	$f = -0,338v + 0,519$, $R^2 = 0,954$
	0,022	0,968	0,850	0,580	0,512
	0,038	0,921	0,815	0,562	0,506
	0,054	0,873	0,780	0,544	0,501
	0,068	0,832	0,750	0,528	0,496
	0,081	0,793	0,722	0,514	0,488
plastikas		$f = -1,307v + 0,511$, $R^2 = 0,910$	$f = -2,13v + 0,595$, $R^2 = 0,973$	$f = -0,207v + 0,366$, $R^2 = 0,909$	$f = -0,413v + 0,326$, $R^2 = 0,891$
	0,022	0,482	0,594	0,362	0,317
	0,038	0,461	0,514	0,358	0,310
	0,054	0,440	0,480	0,355	0,304
	0,068	0,422	0,450	0,352	0,298
	0,081	0,405	0,423	0,349	0,293

Lietuvoje užaugintos, susmulkintos ir malūnu „Retsch SM 200“ sumaltos drambliažolės optimalūs laikymo ir transportavimo įrenginių sienelių pasvirimo kampai, kai pjaustinio judėjimo greitis mažiausias (0,022 m/s), o apkrova kinta nuo 1 iki 31 N būtų tokie (3 lentelė): kai sienelė pagaminta iš metalo 22–37 laipsn., kai sienelė pagaminta iš plastiko – 25–41 laipsn., kai sienelė pagaminta iš medžio – 39–60 laipsn. Atitinkamai, kai judėjimo greitis didžiausias (0,081 m/s): metalui – 21–30 laipsn., plastikui – 23–33 laipsn., medžiui – 38–54 laipsn.

3 lentelė. Būgniniu smulkintuvu susmulkintos, džiovintos ir malūnu sumaltos drambliažolės (4 variantas) optimalūs laikymo ir transportavimo įrenginių sienelių pasvirimo kampai

Table 3. Optimal storage and transportation equipment walls slope angles of chopped by drum chopper, dried and milled elephant grass (4 variant)

Sienelių medžiaga	Vežimėlio judėjimo greitis, m s ⁻¹	Sienelių pasvirimo kampas α (laipsn.), veikiant normalinio slėgio jėgai			
		1 N	11 N	21 N	31 N
Metalas	0,022	37,7	32,9	25,4	21,9
	0,038	37,0	30,3	25,3	21,7
	0,054	35,5	29,7	24,9	21,5
	0,068	32,0	28,8	23,5	21,3
	0,081	30,0	28,3	23,0	21,3
Plastikas	0,022	40,8	36,9	28,4	25,4
	0,038	39,5	35,0	28,0	24,3
	0,054	37,5	35,0	27,8	24,2
	0,068	34,2	33,4	27,8	24,0
	0,081	32,9	30,9	27,3	23,2
Medis	0,022	60,0	55,3	43,9	38,9
	0,038	58,4	55,0	40,9	38,5
	0,054	57,1	54,3	40,8	38,2
	0,068	55,4	51,8	40,2	38,1
	0,081	53,6	49,9	39,3	37,5

Panašūs rezultatai gauti ir atlikus Lietuvoje užaugintos drambliažolės, kuri buvo nupjauta, susmulkinta būgniniu smulkintuvu *Maral – 125* ir išdžiovinta iki $\omega = 8,59\%$ (3 variantas) dinaminės trinties tyrimus. Nustatyta, kad slystant įvairiais paviršiais dinaminės trinties koeficientas, didėjant judėjimo greičiui, taip pat mažėja (4 lentelė). Didžiausias dinaminės trinties (0,960) koeficientas buvo drambliažolės pjaustiniui 0,022 m/s greičiui slystant mediniu paviršiumi, esant 11 N apkrovai. Optimalūs šios žaliavos laikymo ir transportavimo įrenginių sienelių pasvirimo kampai, esant 0,022 m/s judėjimo greičiui, o apkrovai kintant nuo 1 iki 31N būtų tokie: 32–55 laipsn., kai sienelė pagaminta iš metalo, plastikinei sienelei – 33–56 laipsn., o medinei – 36–60 laipsn.

4 lentelė. Būgniniu smulkintuvu susmulkintos ir džiovintos drambliažolės (3 variantas) dinaminės trinties tyrimų rezultatai

Table 4. Research results of dynamic frictional of chopped by drum chopper, dried and milled elephant grass (3 variant)

Slydimopaviršius	Vežimėlio judėjimo greitis v , $m\ s^{-1}$	Dinaminės trinties koeficientas f , veikiant normalinio slėgio jėgai			
		1 N	11 N	21 N	31 N
medis		$f = -0,63v + 0,815$, $R^2 = 0,883$	$f = -2,17v + 1,008$, $R^2 = 0,938$	$f = -0,370v + 0,566$, $R^2 = 0,951$	$f = -0,208v + 0,468$, $R^2 = 0,884$
	0,022	0,801	0,960	0,558	0,463
	0,038	0,791	0,926	0,552	0,460
	0,054	0,781	0,891	0,546	0,457
	0,068	0,772	0,860	0,541	0,454
	0,081	0,764	0,832	0,536	0,451
plastikas		$f = -3,41v + 0,932$, $R^2 = 0,927$	$f = -2,31v + 0,790$, $R^2 = 0,984$	$f = -1,312v + 0,513$, $R^2 = 0,733$	$f = -1,109v + 0,436$, $R^2 = 0,942$
	0,022	0,857	0,739	0,484	0,412
	0,038	0,802	0,702	0,463	0,394
	0,054	0,748	0,665	0,442	0,376
	0,068	0,7	0,633	0,424	0,361
	0,081	0,656	0,603	0,407	0,346
metalias		$f = -0,862v + 0,740$, $R^2 = 0,604$	$f = -1,904v + 0,865$, $R^2 = 0,988$	$f = -1,039v + 0,526$, $R^2 = 0,836$	$f = -0,322v + 0,413$, $R^2 = 0,755$
	0,022	0,721	0,823	0,503	0,406
	0,038	0,707	0,793	0,487	0,401
	0,054	0,693	0,762	0,470	0,396
	0,068	0,681	0,736	0,455	0,391
	0,081	0,670	0,711	0,442	0,387

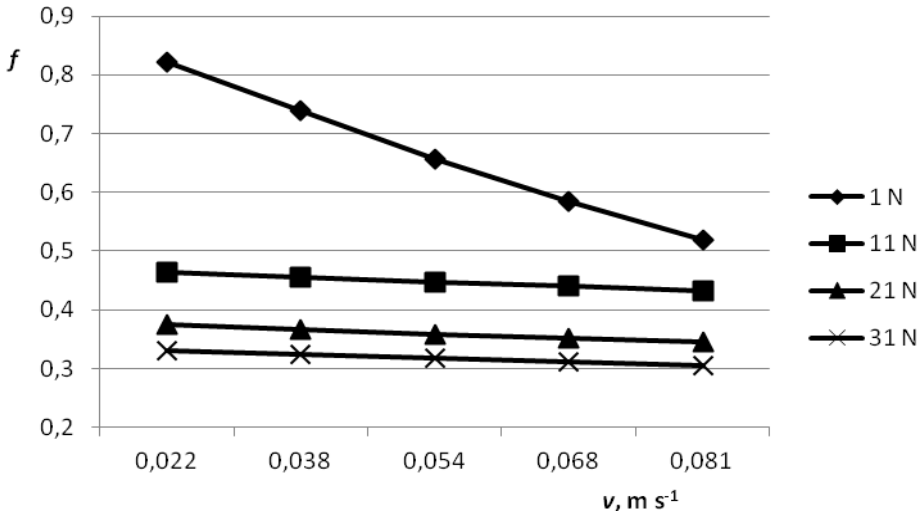
Atlikus paruoštos Vokietijoje drambliažolės (1 variantas) dinaminės trinties tyrimus nustatyta, kad slystant įvairiais paviršiais, didėjant pjaustinio judėjimo greičiui, dinaminės trinties koeficientas taip pat mažėja (5 lentelė). Pavyzdžiui, slystant metaliniu paviršiumi dinaminės trinties koeficientas f , kai $N_0 = 1\ N$ didėjant greičiui nuo 0,022 iki 0,081 m/s sumažėjo nuo 0,821 iki 0,518 (apie 37 proc.), o esant normalinio slėgio jėgai $N_0 = 31\ N$, tik nuo 0,331 iki 0,305 (tik apie 8 proc.). Taip pat matome, kad Vokietijoje paruoštai drambliažolei (1 variantas) slystant metaliniu paviršiumi, kai normalinio slėgio jėga $N_0 = 1\ N$, dinaminės trinties koeficientas didėjant judėjimo greičiui mažėja labai ženkliai, o normalinio slėgio jėgai kintant nuo 11 iki 31 N – sumažėja nežymiai (4 pav.).

5 lentelė. Vokietijoje sintetiniam dyzelinui gaminti paruoštos drambliažolės (1 variantas) dinaminės trinties tyrimų rezultatai

Table 5. Research results of dynamic frictional of prepared in Germany for synthetic diesel production elephant grass (1 variant)

Slydimavimo paviršius	Vežimėlio judėjimo greitis v , $m\ s^{-1}$	Dinaminės trinties koeficientas f , veikiant normalinio slėgio jėgai			
		1 N	11 N	21 N	31 N
medis		$f = -2,19v + 0,992$, $R^2 = 0,929$	$f = -1,514v + 1,020$, $R^2 = 0,994$	$f = -2,12v + 0,883$, $R^2 = 0,853$	$f = -1,064v + 0,760$, $R^2 = 0,796$
	0,022	0,942	0,987	0,836	0,737
	0,038	0,907	0,963	0,802	0,720
	0,054	0,872	0,938	0,769	0,703
	0,068	0,841	0,917	0,739	0,688
	0,081	0,813	0,897	0,711	0,674
plastikas		$f = -1,721v + 0,701$, $R^2 = 0,963$	$f = -0,959v + 0,631$, $R^2 = 0,948$	$f = -0,1871v + 0,463$, $R^2 = 0,934$	$f = -0,1834v + 0,399$, $R^2 = 0,864$
	0,022	0,663	0,610	0,459	0,395
	0,038	0,636	0,595	0,456	0,392
	0,054	0,608	0,579	0,453	0,389
	0,068	0,584	0,566	0,450	0,387
	0,081	0,562	0,553	0,448	0,384
metalo		$f = -5,14v + 0,934$, $R^2 = 0,975$	$f = -0,549v + 0,477$, $R^2 = 0,758$	$f = -0,494v + 0,386$, $R^2 = 0,926$	$f = -0,433v + 0,340$, $R^2 = 0,772$
	0,022	0,821	0,465	0,375	0,331
	0,038	0,739	0,456	0,367	0,324
	0,054	0,656	0,447	0,359	0,317
	0,068	0,584	0,440	0,352	0,311
	0,081	0,518	0,433	0,346	0,305

Vokietijoje paruoštos drambliažolės optimalūs laikymo ir transportavimo įrenginių sienelių pasvirimo kampai, kai pjaustinio judėjimo greitis mažiausias (0,022 m/s), o apkrova kinta nuo 1 iki 31 N būtų tokie: 26–54 laipsn., kai sienelė pagaminta iš metalo, plastikinei sienelei – 31–48 laipsn., o medinei – 52–60 laipsn. Kai judėjimo greitis didžiausias (0,081 m/s) metalinės sienelės pasvirimo kampas turėtų būti 24–39 laipsn., plastikinės – 30–42 laipsn., o medinės – 49–58 laipsn.



4 pav. Dinaminės trinties koeficientas Vokietijoje sintetiniam dyzelinui gaminti paruoštai drambliažolei slystant metaliniu paviršiumi: apkrova 1 N – $f = -5,14v + 0,934$, $R^2=0,975$; 11 N – $f = -0,549v + 0,477$, $R^2=0,758$; 21 N – $f = -0,494v + 0,386$, $R^2=0,926$; 31 N – $f = -0,433v + 0,34$, $R^2=0,772$

Fig. 4. The dynamic frictional coefficient of prepared in Germany for synthetic diesel production elephant grass sliding along the metallic surface

Iš 2 ir 5 lentelėse pateiktų tyrimo duomenų matyti, kad Vokietijoje sintetiniam dyzelinui gaminti paruoštos drambliažolės pjaustiniui (1 variantas) slystant įvairiais paviršiais dinaminės trinties koeficientas yra didesnis, negu Lietuvoje užaugintos ir paruoštos žaliavos. Didžiausias skirtumas (+62,3 proc.) pastebėtas esant 1 N normalinio slėgio jėgai ir 0,022 m/s judėjimo greičiui. Didėjant drambliažolės pjaustinio apkrovai ir judėjimo greičiui, dinaminės trinties koeficientų skirtumai sumažėja iki 12–22 proc.

Išvados

1. Didėjant drambliažolės pjaustinio apkrovai ir judėjimo greičiui, dinaminės trinties koeficientas, atitinkamai ir optimalūs šios žaliavos laikymo ir transportavimo įrenginių sienelių pasvirimo kampai, mažėja:

– didėjant Lietuvoje užaugintos, būgniniu smulkintuvu susmulkintos, išdžiovintos ir malūnu sumaltos drambliažolės pjaustinio apkrovai nuo 1 iki 31 N, kai judėjimo greitis 0,022 $m s^{-1}$, dinaminės trinties koeficientas slystant mediniu paviršiumi sumažėja nuo 0,969 iki 0,512, plastikiniu – nuo 0,482 iki 0,317, metaliniu – nuo 0,506 iki 0,274;

– didėjant Lietuvoje užaugintos, būgniniu smulkintuvu susmulkintos, išdžiovintos ir malūnu sumaltos drambliažolės pjaustinio judėjimo greičiui nuo 0,022 iki 0,081 $m s^{-1}$, kai pjaustinio apkrova 31 N, dinaminės trinties koeficientas slystant

medinių paviršiumi sumažėjo nuo 0,512 iki 0,488, plastikiniu – nuo 0,317 iki 0,293, metaliniu – nuo 0,274 iki 0,265.

– didėjant drambliažolės pjaustinio apkrovai ir judėjimo greičiui, dinaminės trinties koeficientų skirtumai sumažėja iki 12-22 proc.

2. Tirtų žaliavų sintetiniam dyzelinui gaminti birumo kampai skyrėsi nežymiai:

– Lietuvoje užaugintos, būgniniu smulkintuvu susmulkintos, išdžiovintos ir malūnu sumaltos drambliažolės pjaustinio natūralaus šlaito kampas buvo 34 ± 7 laipsn., o Vokietijoje paruoštos – 40 ± 9 laipsn.;

– Vokietijoje sintetiniam dyzelinui gaminti paruoštos drambliažolės plaustinio griūties kampas buvo 88 ± 7 laipsn., o Lietuvoje ruoštos – 69 ± 5 laipsn.

Literatūra

1. FORANS. 2009. Die Produktion von Dieselmotoren aus organischen Inputstoffen mit der KDV-Technologie von Dr. Ch. Koch. Internet Bericht der Forans AG [žiūrėta 2011 m. spalio 10 d.]. 19 S. Prieiga per internetą: http://www.forans.info/files/FORANS-Flyer-KDV-Technologie_A-3-dt.pdf.

2. Krzesinski, E. Transforming biomass to Dieselfuel by catalytic depolymerization. Low pressure, low temperature, low costs. The KDV-method from Alphakat, Germany. *WORLD BIOENERGY*. 2006, p. 1–4.

3. Odenwald, M. Diesel from Waste. *Focus*, 2011. Nr. 41. p. 126–128.

4. Heil, J.; Wirtgen, Ch. 2004. The production of synthetic diesel from biomass. Internet Bericht der Alphakat GmbH [žiūrėta 2012 m. vasario 14 d.]. 10 p. Prieiga per internetą: <http://www.alphakat.de/temp/pdf/DC004.Sdfrombiomass.pdf>.

5. Gražulevičienė, V.; Augulis, L.; Gumbytė, M.; Makarevičienė V. Biodegradable Composites of Polyvinyl Alcohol and Coproducts of Diesel Biofuel Production. *Russian Journal of Applied Chemistry*. New York: Maik Nauka/Interperiodica/Springer. 2011. vol. 84, p. 719 – 723.

6. Janulis, P. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable Energy*. 2004. vol. 29, p. 861 – 871.

7. Lebedevas, S.; Lebedeva, G.; Sendžikienė, E.; Makarevičienė, V. Investigation of the Characteristics of Multicomponent Biodiesel Fuel (D-FAME-E) for Practical Use in Lithuania. *Energy & Fuels*. Washington: American Chemical Society. 2010. vol. 24, p. 1365–1373.

8. Lebedevas, S.; Vaicekauskas, A.; Lebedeva, G.; Makarevičienė, V.; Janulis, P.; Kazancev, K. Use of Waste Fats of Animal and Vegetable Origin for the Production of Biodiesel Fuel: Quality, Motor Properties and Emissions of Harmful Components. *Energy & Fuels*. Washington: American Chemical Society. 2006. vol. 20, p. 2274–2280.

9. Sendžikienė, E.; Makarevičienė, V.; Janulis, P. Oxidation stability of biodiesel fuel produced from fatty wastes. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2005. vol. 14, No. 3, p. 335–339.

10. Raila, A.; Navickas, K. *Biomassės inžinerija*, 2 tomas. Akademija, 2008. 284 p.
11. Lewandowski, I.; Clifton-Brown, J.; Scurlock, J.; Huisman, W. *Miscanthus: European Experience with a Novel Energy Crop*. *Biomass & Bioenergy*. 2000. Vol. 19, P. 198 – 210.
12. Clifton – Brown, J. C., Lewandowski, I., Andersson, B. Performance of 15 *Miscanthus* Genotypes at Five Sites in Europe. *Agronomy Journal*. 2001. Vol. 93, P. 1014–1019.
13. Heaton, E.; Dohleman, G. F.; Long, S. P. Meeting us biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14, P. 2000–2014.
14. Davidson, S. Sustainable bioenergy: Genomic and biofuels development. *Nature Education*. 2008. Vol. 1, P. 1–5.
15. Vrije, G. J.; Bakker, R. R.; Budde, M.A.W. Efficient hydrogen production from the lignocellulosic energy crop *Miscanthus* by the extreme thermophilic bacteria *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* and *Thermotoga neapolitana*. *Bio-technology for Biofuels*. 2009. Vol. 2, P. 2–12.
16. Lewandowski, I.; Clifton – Brown, J. C.; Scurloc, J.M.O. *Miscanthus: European experience with a novel energy crop*. *Biomass and Bioenergy*. 2000. Vol. 19, P. 209–227.
17. Lewandowski, I.; Heinz, A. Delayed parvest of *Miscanthus* – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of Energy production. *European Journal of Agronomy*. 2003. Vol. 12, P. 45–52.
18. Kryževičienė, A. *Drambliažolių adaptacija Lietuvos sąlygomis*. *Mano ūkis*. 2009. 4 p.
19. Jasinskas, A.; Steponavičius, D.; Šarauskius, E.; Šniauka, P.; Vaiciukevičius, E.; Zinkevičius, R. *Žemės ūkio mašinų laboratoriniai darbai*. Akademija, 2010. 110 p.

Remigijus Zinkevičius, Algirdas Jasinskas, Saulius Urbonas

INVESTIGATION OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF MISCANTHUS FOR THE PRODUKTION OF SYNTHETIC DIESEL FUEL

Abstract

While searching for alternative energy sources, investigations of physical-mechanical properties of raw materials prepared for synthetic diesel fuel production, are of highly topical. These properties are important in the preparation of the raw material and its transportation. These properties have significant influence to raw material preparation, storage, transportation logistics, conversion technologies and equipment selection and operation.

In this paper are presented research results of physical-mechanical properties of elephant grass (*Miscanthus*), prepared for synthetic diesel fuel production. There

are determined physical-mechanical properties of chopped and milled elephant grass (flowing corners and a dynamic frictional coefficient).

Flow angles of investigated raw materials for synthetic diesel production differed slightly. With the increasing elephant grass chaff load and velocity, the dynamic frictional coefficient and slope angle decreases respectively. While increasing of grown in Lithuania, chopped by drum chopper, dried and milled by the mill elephant grass mass load from 1 to 31 N, when the movement speed velocity was of $0,022 \text{ m s}^{-1}$, the dynamic friction coefficient of sliding along the wooden surface decreases from 0,969 to 0,512, plastic surface – from 0,482 to 0,317, metal surface – from 0,506 to 0,274.

While increasing of grown in Lithuania, chopped by drum chopper, dried and milled by the mill elephant grass movement speed velocity from 0,022 to 0,081 m s^{-1} , when chaff load was of 31 N, the dynamic frictional coefficient of sliding along the wooden surface decreased from 0,512 to 0,488, plastic surface – from 0,317 to 0,293, metal surface – from 0,274 to 0,265.

Elephant grass (Miscanthus), physical-mechanical properties, dynamic frictional coefficient.

Р. Зинкявичюс, А. Ясинкас, С. Урбонас

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИСКАНТУСА, ПОДГОТОВЛЕННОГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Резюме

При поисках альтернативных энергетических источников очень актуальны исследования физико-механических свойств сырья для производства синтетического дизельного топлива. Эти свойства очень важны при подготовке сырья и его транспортировке. От них зависит логистика заготовки, хранения и перевозок сырья, конверсия технологий, выбор оборудования и его эксплуатация.

В данной работе были проведены исследования физико-механических свойств мискантуса, подготовленного для производства синтетического дизельного топлива. Установлены физико-механические свойства (углы потока и динамический коэффициент трения) измельчённого и перемолотого мискантуса.

Углы потока исследованного сырья для производства синтетического дизельного топлива различались незначительно. При увеличении скорости движения и нагрузки на измельчённый и перемолотый мискантус, уменьшается динамический коэффициент трения и соответственно угол наклона стенки бункера.

При увеличении нагрузки от 1 до 31 Н на мискантус, который был выращен в Литве, измельчён барабанным измельчителем, просушен и перемолот молотом, при скорости движения $0,022 \text{ м с}^{-1}$, динамический коэффициент трения на деревянной поверхности уменьшается от 0,969 до 0,512, на пластике – от 0,482 до 0,317, а на металле – от 0,506 до 0,274.

При увеличении скорости движения от $0,022$ до $0,081 \text{ м с}^{-1}$ мискантуса, который был выращен в Литве, измельчён барабанным измельчителем, просушен и перемолот молотом, при нагрузке 31 Н, динамический коэффициент трения на деревянной поверхности уменьшается от 0,512 до 0,488, на пластике – от 0,317 до 0,293, а на металле – от 0,274 до 0,265.

Мискантус, физико-механические свойства, динамический коэффициент трения.