

Ispitivanje mogućnosti dobijanja ulja iz čvrstog ostatka zaostalog nakon spravljanja napitka od kafe kao potencijalne sirovine za dobijanje biodizela

Zoran Iličković, Eldin Redžić, Franc Andrejaš, Gordan Avdić, Vedran Stuhli

Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet, Tuzla, Bosna i Hercegovina

Izvod

U ovom radu je ispitivana mogućnost dobijanja ulja iz toza (čvrsti ostatak poslije „kuvanja“ kafe) kao potencijalne sirovine za proizvodnju biodizela. Ispitivan je uticaj parametara procesa ekstrakcije maceracijom, i to vrsta rastvarača, odnos toz/rastvarač i vrijeme ekstrakcije na prinos ulja iz ostatka kafe. Vršeno je poređenje dobijenog prinosa ulja maceracijom i ekstrakcijom u Soxhlet aparatu. Izvršena je karakterizacija dobijenog ulja i poređenje dobijenih rezultata sa karakteristikama ulja koja se danas koriste u proizvodnji biodizela. Rezultati pokazuju da toz predstavlja alternativnu sirovину за dobijanje biodizela jer sadrži značajan udio ulja koje se može izdvojiti procesom ekstrakcije. Prinos ulja koje se može dobiti iz toza ovisi o procesnim parametrima ekstrakcije/maceracije. Provedeni eksperimenti pokazuju da se maksimalni prinos ulja dobije ekstrakcijom u Soxhlet-aparatu sa *n*-heksanom, pri trajanju ekstrakcije od 5 sati, pri brzini zagrijavanja koja omogućava 6 sifoniranja po satu i iznosi 11,85% (masa ulja po suhoj masi toza). Sa petroleterom je prinos ulja nešto manji i iznosi 10,44% (masa ulja po suhoj masi toza). Prinos ulja pri ekstrakciji maceracijom se povećava sa smanjenjem odnosa mase toza prema zapremini rastvarača sa 1/3 na 1/7, pri konstantnim ostalim parametrima.

Ključne reči: toz kafe, ekstrakcija, maceracija, ulje kafe, biodizel.

Dostupno na Internetu sa adresе časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

I pored toga što biogoriva u odnosu na fosilna goriva posjeduju značajne prednosti, prije svega, u ekološkom pogledu, danas je u svijetu prilično veliki broj kritičara upotrebe biogoriva. Njihov glavni argument je da povećanje proizvodnje i potrošnje biogoriva u svijetu dovodi do povećanja cijena i nestasice hrane na globalnom nivou. Zbog te činjenice, istraživači koji se bave biogorivima pokušavaju da iznađu nove alternativne sirovine za proizvodnju biogoriva koje će smanjiti proizvodne troškove, a s druge strane neće učestvovati u prehrambenom lancu. Pored diatomnih algi koje pokazuju najveći potencijal, veoma su značajne tzv. sekundarne sirovine, odnosno materijali koji se javljaju kao otpad u nekim proizvodnjama, operacijama ili generalno u nekoj ljudskoj djelatnosti (otpadno ulje domaćinstava, restorana, pogona za preradu hrane, otpadne životinjske masnoće klaonica i pogona za preradu mesa, masnoće izdvojene iz otpadnih voda itd.) [1] Jedna od tih sirovina je čvrsti ostatak (toz) koji zaostaje nakon spravljanja i konzumacije napitka od kafe. Uobičajena praksa kod nas je da se ovaj otpad odlaže na deponije zajedno sa ostalim kućnim otpadom ili se sipa u kanalizacione odvode te vrlo često izaziva njihovo začepljenje, a mogao bi biti vrlo vrijedna alternativna sirovina

Prepiska: Z. Iličković, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Tuzli, Univerzitetska ulica 8, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina.

E-pošta: zoran.ilickovic@untz.ba

Rad primljen: 2. novembar, 2011

Rad prihvaćen: 15. decembar, 2011

NAUČNI RAD

UDK 641.87:66.061.35:662.756.3

Hem. Ind. 66 (4) 581–586 (2012)

doi: 10.2298/HEMIND111102109I

kako za proizvodnju biodizela tako i za druge namjene. Sadržaj ulja u kafi, prema dostupnoj literaturi se kreće od 7 do 11% po suhoj materiji u zavisnosti od vrste (zelena kafa, pržena kafa ili oštećena zrna kafe) [2–7], dok ostatak kafe (toz) sadrži u prosjeku 10–15% ulja [8,9]. Neki autori [10] saopštili su prinos od 18,3% ulja korištenjem heksana kao rastvarača. Ovo je vrlo značajna količina u poređenju sa udjelom ulja u sirovinama koje se najčešće koriste za proizvodnju biodizela u svijetu, kao što su: uljana repica (37–50%), palma (30%) i soja (20%) [11]. Teoretski, kada bi se iskoristio sav toz kao sirovina za dobijanje biodizela, moglo bi se proizvesti oko 1,25 miliona tona biodizela u svijetu [12]. To nisu količine koje će riješiti problem snabdijevanja transportnim gorivima, ali svakako su veoma značajne, s obzirom na karakter sirovine. Biodizel dobijen iz ulja dobijenog iz toza, ima bolju stabilnost od biodizela dobijenog od drugih sirovina, s obzirom na visok sadržaj antioksidanata, kao što su: kafestol, kahveol i 16-o-metilkafestol [13,14]. Bosna i Hercegovina, prema podacima Organizacije UN za hranu i poljoprivredu, u 2009. godini, uvezla je oko 18000 tona kafe, dok je Srbija u isto vrijeme uvezla oko 32000 tona [15]. Radi se o značajnim količinama, koje mogu biti dobra sirovinska osnova za dobijanje ulja koje može poslužiti za proizvodnju „domaćeg“ goriva – biodizela. Pored toga, ostatak nakon ekstrakcije ulja se može upotrijebiti za kompostiranje i proizvodnju veoma kvalitetnog vrtnog đubriva jer posjeduje veoma dobar odnos C/N od 16:1, dok neprocesirani toz ima odnos C/N od 20:1. Visok sadržaj

organske materije u tozu iz kojeg je ekstrahirano ulje, omogućava da se on iskoristi kao vrijedno organsko đubrivo, prije svega što sadrži značajne količine azota (2,9%), fosfora (0,68% P_2O_5) i kalijuma (1,2%) [16–18]. Veoma značajno je napomenuti da toz ne sadrži teške metale ili ih sadrži samo u tragovima, te je pogodniji za upotrebu od nekih formi komposta.

Toz posjeduje značajnu energetsku vrijednost (gorjna kalorična moć – UHV = 19,1 MJ/kg) [19] tako da se može koristiti za proizvodnju gorivog peleta [20]. S obzirom na cijene dizel goriva, kao i gorivih peleta danas na tržištu, možemo reći da toz predstavlja jako interesantnu sirovinu za ekonomičnu proizvodnju kako tečnih tako i čvrstih biogoriva.

Tematika koju obrađuje ovaj rad je relativno nova i u dostupnoj literaturi se uglavnom prezentuje mogućnost dobijanja biodizela iz ulja od različitih formi kafe [5,8,11,14,16,21] dok sa druge strane veoma je malo radova u kojima su istraživani parametri procesa dobijanja ulja iz toza. Istraživani su uvjeti dobijanja ulja iz toza superkritičnom ekstrakcijom sa CO_2 [22,23], dok je o parametrima procesa ekstrakcije sa rastvaračima pogotovo procesom maceracije veoma malo podataka. Najdetaljnija istraživanja su obavili istraživači sa Univerziteta u Nevadi, koji su istraživali različite procese dobijanja ulja iz toza, te istraživali parametre procesa dobijanja biodizela. Oni su koristili mehaničko presovanje te ekstrakciju uz heksan, dietil etar i dihlormetan kao otapala [8,16].

Cilj ovog rada prije svega je bio ispitati uticaj odgovarajućih parametara procesa ekstrakcije maceracijom, kao što su: vrsta rastvarača, odnos toz/rastvarač i vreme ekstrakcije, na prinos ulja iz ostatka kafe (toza), zatim izvršiti karakterizaciju ulja, i poređenje rezultata sa karakteristikama ulja koja se danas koriste u proizvodnji biodizela. Maceracija kao process ima svoje prednosti u ekološkom i ekonomskom pogledu u odnosu na ekstrakciju jer je smanjena potreba za energijom s obzirom na to da se izvodi na temperaturi od 20 °C. U ovom radu je, za razliku od pomenutih literaturnih referenci ispitivan uticaj rastvarača (n-heksan, petroletar), koji su danas najzastupljeniji u industrijskoj praksi ekstrakcije komercijalnih biljnih ulja.

EKSPERIMENTALNI DIO

Materijal

U navedenim istraživanjima korišteni su slijedeći materijali i hemikalije: ostatak kafe espresso iz lokalnih kafe-barova (Franck, Zagreb), petroleter, p.a., (Kemika, Zagreb, Hrvatska), n-heksan, p.a., natrijum-hidroksid, p.a. (Lach-Ner, Češka Republika), etanol, natrijum-tiosulfat, kalijum-hidroksid, p.a. (Alkaloid, Skoplje, Makedonija), i kalijum-jodid (Merck, Njemačka).

Aparature

Za ekstrakciju ulja iz toza kafe korištena je standardna aparatura za ekstrakciju po Soxhletu. Za eks-trakciju ulja maceracijom korištena je aparatura koja se sastojala od: vodenog kupatila, tikvice sa okruglim dnom i povratnog hladnjaka. Za odvajanje smjese rastvarač/ulje od čvrstog ostatka kafe korištena je aparatura za destilaciju pod sniženim pritiskom.

Metode

Preparacija sirovine

Prikljupljeni ostaci espresso kafe (toz) imali su sadržaj vlage od 62%. Priprema uzorka se sastojala u sušenju toza u laboratorijskoj sušnici u periodu od 24 časa u kojem je toz osušen do 4% vlage, a zatim kondicioniran u laboratorijskim uslovima do oko 10% vlage, i kao takav korišten u procesu ekstrakcije.

Ekstrakcija ulja

Provedena je ekstrakcija sa rastvaračima na dva načina: po Soxhlet-u i maceracijom, sa nepolarnim rastvaračima (petroleter i n-heksan). Kod ekstrakcije po Soxhlet-u, ispitivan je prinos ulja iz toza sa vremenom eks-trakcije od jedan, tri i pet sati, uz brzinu zagrijavanja koja je omogućavala 6 sifoniranja u toku jednog sata, pri odnosu toz/rastvarač od 1/5 (g/cm^3). Prinos ulja kod ekstrakcije po Soxhlet-u posmatran je kao maksimalna količina ulja koju je moguće dobiti za posmatrano vrijeme trajanja ekstrakcije. Maceracija je ispitivana na temperaturi 20 °C, pri različitim odnosima toz/rastvarač (1/3, 1/5 i 1/7 (g/cm^3)) u trajanju ekstrakcije od jedan, tri i pet sati.

Za ekstrakciju ulja iz toza po Soxhlet-u, odmjeri se 100 g toza u staklenu čahuru/tuljak, koji se zatim postavi u ekstraktor (srednji dio). Nakon što je aparatura sklopljena, u tikvicu se sipa 500 ml rastvarača (petroleter ili n-heksan) kroz povratni hladnjak, tako da se toz u središnjem dijelu nakvari rastvaračem. U tikvicu sa okruglim dnom doda se nekoliko staklenih kuglica radi ravnomjernijeg ključanja rastvarača. Nakon provedene ekstrakcije, postupkom destilacije izvršeno je razdvajanje rastvarača od dobijenog ulja. Izdvojeni rastvarač je ponovno korišten u narednom procesu ekstrakcije. Prinos ulja računat je kao masa dobivenog ulja na masu toza umanjenu za sadržaj vlage u tozu, odnosno kao maseni udio ulja po suhoj materiji toza. Na ovaj način određen je maksimalni prinos ulja koje je moguće dobiti ekstrakcijom sa rastvaračima za određeno vrijeme ekstrakcije.

Za ekstrakciju ulja maceracijom odvaje se 50 g toza u staklenu tikvicu okruglog dna sa šlifovanim grlom (od 500 cm^3), na koju se postavi povratni hladnjak. U tikvicu se zatim doda određena količina rastvarača (petroleter ili n-heksan) u zavisnosti od želenog odnosa (1/3, 1/5 ili 1/7 (g/cm^3)). Maceracija se temperira u vodenom kupatilu na željenu temperaturu, 20 °C, u toku 1, 3 ili 5 sati. Pri maceraciji je vršeno miješanje smjese u intervalima

svakih 30 min po 5 s, kružnim pokretima tikvice. Nakon završetka maceracije, tečni ekstrakt se odvajao od čvrstog ostatka toza vakuum filtriranjem na Buchner-ovom lijevku. Čvrsti ostatak toza je ispran sa 50 cm³ svježeg rastvarača i neposredno nakon toga filtriran, kako bi se kvantitativno izdvojila sva ekstrahovana količina ulja iz toza. Nakon filtriranja, do vrijednosti prinosa ulja se došlo istim slijedom operacija kao i kod ekstrakcije pomoću Soxhlet aparata.

Karakterizacija ulja

Karakterizacija ulja izvršena je kroz određivanje slijedećih fizičko-hemijskih karakteristika: gustina (denzimetar, Anthon Paar, DMA 35N), indeks refrakcije (Abbe-ov refraktometar), viskozitet (stakleni kapilarni viskozimetar – Ostwald), jodni broj (metoda po Hanusu), kiselinski broj (titracija sa 0,1 M NaOH), saponifikacioni broj (saponifikacija ulja sa NaOH i titracija sa HCl), peroksidni broj (metoda po Wheeler-u) i sastav masnih kiselina (hromatografski). Glavnina ovih analiza urađena je u laboratoriji za Organsku tehnologiju na Tehnološkom fakultetu Univerziteta u Tuzli, dok je u laboratoriji fabrike ulja Bimal d.d. iz Brčkog odrađena hromatografska analiza. Za karakterizaciju su korištene standardne analitičke metode, dok je određivanje sastava masnih kiselina u ulju kafe odrađeno na gasnom hromatografu tipa Shimadzu GC-2010. Uzorak je pripremljen na slijedeći način. Ulje se prvo profiltrira i suši na 105 °C u trajanju od jednog sata. Nakon toga, odmjerena količina od 1 g uzorka ulja se doda u menzuru. Doda se 10 cm³ n-heptana i 0,5 ml metanolnog rastvora KOH, nakon čega se smjesa promučka i ostavi da stoji 30 min. Nako toga, propipetom se iz gornjeg sloja usisa 1,5–2 cm³ rastvora, koji se prebaci u epruvetu u koju je prethodno dodano oko 0,5 g natrijum-sulfata i 4 ml n-hep-

tana. Sadržaj epruvete se promučka i ostavi da stoji oko 5 min, nakon čega se izvrši ubrizgavanje uzorka u gasni hromatograf. Temperaturni režim analize uključuje: 60 °C – 1 min, 180 °C – 40 min i 220 °C – 20 min.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati prinosa ulja pri različitim uslovima ekstrakcije sa nepolarnim rastvaračima, prikazani su sumarno u tabelama 1 (n-heksan) i 2 (petroleter). Prinos ulja dobiven maceracijom zavisi od vrste rastvarača, odnosa toz/rastvarač, te vremena trajanja maceracije. Za određeno vrijeme trajanja ekstrakcije, prinos ulja koji se dobijao maceracijom uvijek je bio manji od prinosa ulja koja se za isto vrijeme dobijao ekstrakcijom po Soxhlet-u. To se može pripisati činjenici da se pri ekstrakciji u Soxhlet-aparatu na uzorak toza iz kojeg se ekstrahuje ulje kontinuirano dodaje čisti rastvarač tako da ne dolazi do potpunog uspostavljanja ravnoteže između koncentracije ulja u rastvaraču i tozu, pri jednom sifoniranju kao što je slučaj kod ekstrakcije maceracijom. Producovanjem vremena trajanja ekstrakcije (broja sifoniranja) količina ulja u uzorku se smanjuje tako da se za povećanje vremena trajanja ekstrakcije sa 3 na 5 h prinos ulja poveća za 14% kada je u pitanju ekstrakcija sa n-heksanom i 12% za ekstrakciju sa petroleterom. Bolji rezultati kada je u pitanju prinos ulja korištenjem Soxhlet-aparata u odnosu na maceraciju se mogu pripisati i povišenoj temperaturi koja vlada u Soxhlet aparatu. Povećanjem radne temperature povećava se rastvorljivost ulja u rastvaraču, smanjuje se viskoznost a povećava koeficijent difuzije, tako da se povećava i brzina difuzije ulja iz unutrašnjosti čestica toza prema masi rastvarača.

Tabela 1. Rezultati dobijeni izvođenjem ekstrakcije ulja sa n-heksanom

Table 1. The results of the oil extraction experiments by maceration with n-hexane

Ekstrakcija ulja maceracijom									
Temperatura, °C	20								
Vrijeme, h	1		3		5				
Odnos toz/n-heksan (g/cm ³)	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1/7
Prinos (% ulja po suvoj masi toza)	7,35	8,36	8,64	7,45	8,48	8,73	7,72	8,59	9,00
Ekstrakcija ulja po Soxhlet-u									
Prinos (% ulja po suvoj masi toza)	9,13			10,39			11,85		

Tabela 2. Rezultati izvođenja eksperimenta ekstrakcije ulja maceracijom sa petroleterom

Table 2. The results of the oil extraction experiments by maceration with petroleum ether

Ekstrakcija ulja maceracijom									
Temperatura, °C	20								
Vrijeme, h	1		1		1				
Odnos toz/petroleter (g/cm ³)	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1/7
Prinos (% ulja po suvoj masi toza)	6,87	7,23	7,96	7,11	8,18	8,06	7,34	8,28	8,62
Ekstrakcija ulja po Soxhlet-u									
Prinos (% ulja po suvoj masi toza)	8,80			10,31			10,44		

Iz rezultata je vidljivo da prinos ulja dobijenog postupkom maceracije lagano raste sa vremenom kontakta rastvarača i sirovine. Evidentno je da se glavni deo ulja iz toza ekstrahuje u prvom satu ekstrakcije i kada je u pitanju maceracija i kada je u pitanju ekstrakcija u Soxhlet aparatu. S druge strane, prinos ulja pri mace- raciji se značajnije povećava sa smanjenjem odnosa toz/rastvarač u opsegu od 1/3 do 1/7 (g/cm^3), za konstantne druge parametre. Ovo se objašnjava činjenicom da pri svakom kontaktu toz–rastvarač dolazi do uspostavljanja ravnoteže između ulja u rastvaraču izvan čestice i ulja u rastvaraču u čestici toza. Dakle, dolazi do zasićenja rastvarača sa ekstrahovanim uljem. Što je veća količina rastvarača u direktnom kontaktu sa tozom, odnosno što je manji odnos toz/rastvarač, moguće je rastvoriti veću količinu ulja da bi došlo do zasićenja rastvarača, što je rezultiralo i većim prinosom ulja. Ako se porede prinosi ulja za odnose toz/rastvarač od 1/3 i 1/5, prinos ulja se povećava za 7,8 do 13,8%, a prinos ulja pri omjeru 1/7 se povećava od 3,21 do 4% u odnosu na odnos 1/5. Ovo ukazuje da bi se povećanje prinsa ulja smanjivalo sa daljim smanjenjem odnosa toz/rastvarač. To se može objasniti činjenicom da kada je manja koncentracija ulja u tozu, dolazi do sporije ekstrakcije ulja, odnosno do sporijeg uspostavljanja ravnoteže. Dakle, kako koncentracija ulja u tozu teži nuli, smanjuje se uticaj odnosa toz/rastvarač na sam prinos ulja iz toza. Iz ovoga se može reći da je optimalni odnos pri ekstrakciji ulja u promatranim eksperimentima, odnos od 1/5, te da se daljim povećavanjem količine rastvarača pri ekstrakciji maceracijom, smanjuje efikasnost ekstrakcije izražena kao masa ekstrahovanog ulja po masi otapala. Rezultati pokazuju da se upotreboom *n*-heksana kao rastvarača dobije nešto veći prinos ulja u odnosu na eksperimente gdje se koristi petroletar. Dostupne literaturne reference ne obrađuju ovu tematiku

detaljnije nego samo daju maksimalni prinos ulja koji je dobiven ekstrakcijom sa heksanom kao rastvaračem u Soxhlet aparaturi. Prinos se kreće od 10 [17] preko 13,4 [9] do 18,3% [10]. Treba istaći da ovi rezultati predstavljaju maksimalni prinos, tj. ekstrakcija je rađena konstantno dok se nije izdvojilo svo ulje. Nasuprot tome u literaturnoj referenci [8] prinos od 15% ulja je dobijen ekstrakcijom sa rastvaračima (heksan, etar i dihlormetan) u trajanju od 1 sata.

Karakterizacija ulja

Izvršena je analiza fizikalno–hemiskih karakteristika ulja koje je dobiveno ekstrakcijom iz ostatka kafe (toza). Ovako dobiveno ulje je tamna, zelenkasto-smeđa tečnost, koja je lakša od vode, sa karakterističnim mirisom na kafu. Rezultati analize masnih kiselina pokazuju dobro slaganje sa literaturnim referencama [10,17,21]. Rezultati analize sumarno su predstavljeni u tabeli 3, gde je data i komparacija fizikalno–hemiskih karakteristika ulja toza od kafe sa fizikalno–hemiskim karakteristikama komercijalnih ulja koja se koriste za proizvodnju biodizela.

Iz tabele je vidljivo da se pojedine karakteristike ulja toza, dobivenog u ovom radu, ne razlikuju bitno od karakteristika komercijalnih ulja koja se koriste za proizvodnju biodizela. Po sastavu masnih kiselina, ulje kafe je najviše slično sojinom ulju. Uzme li se ova analiza u obzir, jasno je da se toz, odnosno ulje iz toza, može upotrijebiti kao alternativna sirovina za proizvodnju biodizela. Ako je poznata činjenica da sirovine imaju učešće od 80% ukupnih troškova proizvodnje biodizela [22,23], a da se toz tretira kao organski otpad, ova opcija može biti značajna kako sa ekonomskog tako i sa ekološkog aspekta.

Tabela 3. Poređenje karakteristika ulja iz toza kafe i ulja koje se najčešće koriste za proizvodnju biodizela

Table 3. Comparison of the characteristics of oil from spent coffee grounds and oils that are commonly used for biodiesel production

Karakteristika	Ostatak kafe (toz)	Suncokret	Uljana repica	Soja	Palma
Kinematski viskozitet, mm^2/s (40 °C)	54,3	58	34	65	40
Gustina, kg/m^3 (15 °C)	930	918	927	913	918
Kiselinski broj, mg KOH/g ulja	5,40	0,2	0,8	0,2	5,3
Sadržaj vlage, mas.%	0,1	–	< 0,01	–	2,1
Tačka paljenja, °C	–	>220	>100	230	267
Sadržaj zasićenih masnih kiselina, %	43,2	10	–	15	47
Jodni broj, g I ₂ /100 g ulja	91,36	–	105	–	52,4
Standardna entalpija spaljivanja, MJ/kg	–	40	–	40	–
Palmitinska masna kiselina, % (C 16:0)	37,1	6,8	4,2	11,8	42,6
Stearinska masna kiselina, %C (18:0)	5,8	3,3	1,3	3,2	4,4
Oleinska masna kiselina, % (C 18:1)	10,2	16,9	66,6	23,3	40,5
Linolna masna kiselina, %C (18:2)	43,2	73,7	18,7	55	10,1
Linolenska masna kiselina, % (C 18:3)	2,0	0	7,7	6,3	0,2
Ostale masne kiseline, %	1,7	2,6	1,5	0,4	2,2
Reference	–	[24]	[25]	[26]	

ZAKLJUČCI

Ostatak od kafe (toz) predstavlja alternativnu sirovinu za dobijanje biodizela jer sadrži značajan udio ulja koje se može izdvojiti procesom ekstrakcije. Ekstrakcija *n*-heksanom u Soxhlet aparatu pri odnosu toz/rastvarač od 1/5 uz vrijeme trajanja ekstrakcije od 5 h, daje najbolje rezultate u smislu prinosa ulja. Ulje dobijeno procesima ekstrakcije iz toza ima fizikalno-hemijske karakteristike koje se bitno ne razlikuju od fizikalno-hemijskih karakteristika komercijalnih sirovina (biljnih ulja) koje se koriste za proizvodnju biodizela. S obzirom na to da toz od kafe prestavlja otpad, a imajući u vidu činjenicu da se njegovim iskorištavanjem pored kvalitetnog ulja od kojeg se može proizvesti biodizel, mogu dobiti i gorivi pelet kao i kvalitetan kompost, svakako bi trebalo detaljnije sagledati mogućnosti njegove komercijalne primjene u navedene svrhe.

LITERATURA

- [1] Z. Iličković, J. Sadadinović, F. Zilić, E. Redžić, Effect of catalyst on transesterification of waste vegetable oils from food processing facility, *Agric. Conspec. Sci.* **74** (2009) 181–190.
- [2] M. Daglia, M. Racchi, A. Papetti, C. Lani, S. Govoni, G. Gazzani, In vitro and ex vivo antihydrosyl radical activity of green and roasted coffee, *J. Agric. Food Chem.* **52** (2004) 1700–1704.
- [3] A.J. Wilson, M. Petracco, E. Illy, Some preliminary investigations of oil biosynthesis in the coffee fruit and its subsequent re-distribution within green and roasted beans, 17th International Colloquium on the Chemistry of Coffee, ASIC, Paris, 1997, pp. 92–99.
- [4] W.M. Ratnayake, Lipid content and composition of coffee brews prepared by different methods, *Food Chem. Toxicol.* **31** (1993) 263–269.
- [5] L.S. Oliveira, A.S. Franca, R.R.S. Camargos, V.P. Ferraz, Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production, *Bioresour. Technol.* **99** (2008) 3244–3250.
- [6] M.A. Al Kanhal, Lipid analysis of *Coffea arabica* Linn. beans and their possible hypercholesterolemic effects, *Int. J. Food Sci. Nutr.* **48** (1997) 135–139.
- [7] P. Folstar, Lipids, in: *Coffee: Chemistry*, R.J. Clarke, R. Macrae (Eds.), Elsevier Applied Science Publishers, New York, 1985, pp. 203–221.
- [8] N. Kondamudi, S.K. Mohapatra, M. Misra, Spent coffee ground as a versatile source of green energy, *J. Agric. Food. Chem.* **56** (2008) 11757–11760.
- [9] M. Arya, L.J.M. Rao, An impression of coffee carbohydrates, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **47** (2007) 51–67.
- [10] R.M. Couto, J. Fernandes, M.D.R. Gomes da Silva, P.C. Simões, Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds, *J. Supercrit. Fluids* **51** (2009) 159–166.
- [11] M. Gui, K. Lee, S. Bhatia, Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock, *Energy* **33** (2008) 1646–1653.
- [12] E. van Thuijl, C.J. Roos, L.W.M. Beurskens, An overview of biofuel technologies, markets and policies in Europe. Energy research centre of the Netherlands, Project no. ECN 7.7449.02.01, 2003.
- [13] K. Speer, I. Kölling-Speer, The lipid fraction of the coffee bean, *Braz. J. Plant Physiol.* **18** (2006) 201–216.
- [14] A. King, Research advances: Fill ‘er up on chicken, shrimp, and coffee? *J. Chem. Educ.* **87** (2010) 243–244.
- [15] Food and Agriculture Organization Of The United Nations, FAO, 2011 (<http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>).
- [16] M. Misra, S.K. Mohapatra, N. Kondamudi, Methods, systems and apparatus for obtaining biofuel from coffee and fuels therefrom, Pat. WO 2009/015358, 2009.
- [17] S. Orecchio, Recovery and reutilization of waste matter from coffee preparation, *J. Chem. Ed.* **78** (2001) 1669–1671.
- [18] D. Janssen, Recycling Cofee Grounds, University of Nebraska, <http://lancaster.unl.edu/hort/Articles/2007/Coffeegrounds.shtml> (10.11.2011)
- [19] SGS-Institut-Fresenius 2008 SGS-Institut-Fresenius (2008) Abfalluntersuchung, 544946, SGS Institut Fresenius GmbH, D-78333 Stockach.
- [20] R. Itten, M. Stucki, N.J. ungluth, Life cycle assesment of burning different solid biomass substrates, Bundesamt für energie, Project no. 154347/103299 Bern, 2011.
- [21] A. Karmakar, S. Karmakar, S. Mukherjee, Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production, *Bioresour. Technol.* **101** (2010) 7201–7210.
- [22] N.D. Paulson, R.G. Ginder, The growth and direction of the biodiesel industry, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, 2007.
- [23] S. Retka-Schill, Walking a tightrope, *Biodiesel. Mag.* **53** (2008) 64–70.
- [24] A. Ramadhas, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, Biodiesel production from high FFA rubber seed oil, *Fuel* **84** (2005) 335–340.
- [25] L. Azócar, G. Ciudad, H.J. Heipieper, R. Navia, Biotechnological processes for biodiesel production using alternative oils, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **88** (2010) 621–636.
- [26] B. Barnwal, M. Sharma, Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India, *Renew. Sust. Energ. Rev.* **9** (2005) 363–378.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY FOR OBTAINING OIL FROM THE SPEND COFFEE GROUNDS AS POTENTIAL RAW MATERIAL FOR BIODIESEL PRODUCTION

Zoran Iličković, Eldin Redžić, Franc Andrejaš, Gordan Avdić, Vedran Stuhli

University of Tuzla, Faculty of Technology, Tuzla, Bosnia and Herzegovina

(Scientific paper)

The aim of this paper was to investigate the possibility of obtaining oil from spent coffee grounds, which are left behind after the coffee is prepared, as the potential feedstock for biodiesel production. The effect of process parameters, such as are the type of solvent, the ratio of spent coffee grounds/solvent and the extraction time on oil yielded from coffee grounds was examined. The oil was obtained by maceration and extraction in the Soxhlet apparatus. The obtain results show that the spent coffee grounds could be used as an alternative raw material for biodiesel production, because it contains a significant amount of oil that can be extracted. The oil yield depends on the extraction (maceration) process parameters. The maximum oil yield obtained by the Soxhlet extraction with the *n*-hexane for the period of 5 h was 11.85% (the weight percentage of oil on dry mater), whereas with petroleum ether the oil yield was slightly lower and amounted to 10.44%. The yield of the oil extracted by maceration increases with the decrease of spent coffee grounds/solvent ratio from 1/3 to 1/7 (g/cm³), and other parameters being constant. The oil yield increases with the duration of the maceration. Greater oil yield, ranging from 3 to 8.5%, can be obtained with *n*-hexane compared to the extraction with petroleum ether. Furthermore, *n*-hexane is less volatile and flammable, compared to petroleum ether, so it is more convenient to use.

Keywords: Spent coffee grounds • Extraction • Maceration • Coffee oil • Biodiesel