



СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ – ОГРАНАК САНУ У НИШУ

ПРЕДСТАВЉАЊЕ РЕЗУЛТАТА ПРОЈЕКТА О-14-18

РАЗВОЈ, МОДЕЛОВАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОИЗВОДЊЕ БИОДИЗЕЛА КОРИШЋЕЊЕМ НЕЈЕСТИВИХ И ОТПАДНИХ СИРОВИНА

Координатор пројекта: дописни члан САНУ Влада Вељковић

Руководилац пројекта: проф. др Оливера Стаменковић



Четвртак, 26. јануар 2023. године, 12.00 сати

Свечана сала Технолошког факултета у Лесковцу, Булевар ослобођења 124.

ЦИЉ ПРОЈЕКТА

- **РАЗВОЈ МАТЕРИЈАЛА И ТЕХНОЛОГИЈА НА БАЗИ БИО-ОБНОВЉИВИХ, ПРИРОДНИХ И ОТПАДНИХ СИРОВИНА РАДИ ЊИХОВОГ КОРИШЋЕЊА У СИНТЕЗИ БИОДИЗЕЛА**
- **УНАПРЕЂЕЊЕ ПОСТОЈЕЋИХ И РАЗВОЈ НОВИХ ТЕХНОЛОГИЈА**
- **ВАЛОРИЗАЦИЈА ОТПАДНИХ МАТЕРИЈАЛА**
- **СМАЊЕЊЕ ТРОШКОВА ПРОИЗВОДЊЕ**

ОБЛАСТИ ИСТРАЖИВАЊА

- **ЕКСТРАКЦИЈА УЉА:**

- УТИЦАЈ ОПЕРАТИВНИХ УСЛОВА НА ПРИНОС УЉА,
- ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛОВАЊЕ КИНЕТИКЕ ЕКСТРАКЦИЈЕ УЉА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ЕКСТРАХОВАНИХ УЉА

- **СИНТЕЗА КАТАЛИЗАТОРА:**

- ДОБИЈАЊЕ КАТАЛИЗАТОРА ИЗ ОТПАДНИХ И ЈЕФТИНИХ ПРИРОДНИХ МАТЕРИЈАЛА КОЈИ СЕ МОГУ КОРИСТИТИ У ПРОЦЕСИМА СИНТЕЗЕ БИОДИЗЕЛА И ЊИХОВА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА

- **СИНТЕЗА ЕСТЕРА ВИШИХ МАСНИХ КИСЕЛИНА (БИОДИЗЕЛА):**

- РАЗВОЈ ПРОЦЕСА ЗА СИНТЕЗУ БИОДИЗЕЛА ИЗ НЕЈЕСТИВИХ, ОТПАДНИХ И КОРИШЋЕНИХ УЉА И ЖИВОТИЊСКЕ МАСТИ, УЗ КОРИШЋЕЊЕ ЧВРСТИХ КАТАЛИЗАТОРА ИЗ ЈЕФТИНИХ ПРИРОДНИХ И ОТПАДНИХ СИРОВИНА,
- ОПТИМИЗАЦИЈА, МОДЕЛОВАЊЕ КИНЕТИКЕ И СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА ПРОИЗВОДЊЕ БИОДИЗЕЛА

- **КООРДИНАТОР ПРОЈЕКТА:**

дописни члан САНУ Влада Вељковић

- **РУКОВОДИЛАЦ ПРОЈЕКТА:**

проф. др ОЛИВЕРА СТАМЕНКОВИЋ

- **САРАДНИЦИ НА ПРОЈЕКТУ**

Универзитет у Нишу, Технолошки факултет у Лесковцу

проф. др Ивана Банковић-Илић

проф. др Зоран Тодоровић

др Милан Костић, доцент

др Биљана Ђорђевић, асистент

др Драган Тротер, научни сарадник

Универзитет у Нишу, Пољопривредни факултет у Крушевцу

др Марија Миладиновић, доцент

Универзитет у Новом Саду, Институт за прехранбене технологије

др Звонко Б. Њежић, виши научни сарадник

САДРЖАЈ ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ:

- **ПРОФ. ДР ИВАНА БАНКОВИЋ ИЛИЋ**
ПРЕДСТАВЉАЊЕ МОНОГРАФИЈЕ „УЉЕ КУКУРУЗА КАО
СИРОВИНА ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОДИЗЕЛА“
- **ДР МАРИЈА МИЛАДИНОВИЋ**
ДОБИЈАЊЕ БИОДИЗЕЛА ИЗ КОРИШЋЕНОГ УЉА ПРИМЕНОМ
ПЕПЕЛА ЉУСКЕ ЛЕШНИКА КАО КАТАЛИЗАТОРА
- **ДР БИЉАНА ЂОРЂЕВИЋ:**
УТИЦАЈ ТЕМПЕРАТУРЕ НА ФИЗИЧКОХЕМИЈСКА СВОЈСТВА
ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА НА БАЗИ ЛЕЦИТИНА И ЊИХОВА
ПРИМЕНА У ТРАНСЕСТЕРИФИКАЦИЈИ КАТАЛИЗОВАНОЈ
КАЛЦИЈУМ-ОКСИДОМ

УЉЕ КУКУРУЗА КАО СИРОВИНА ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОДИЗЕЛА

истакнута монографија националног значаја

Издавачи:

- Универзитет у Нишу, Технолошки факултет, Лесковац
- САНУ, огранак САНУ у Нишу

ISBN 978-86-89429-50-3

Аутори:

- Влада Б. Вељковић
- Милан О. Биберџић
- Ивана Б. Банковић Илић
- Оливера С. Стаменковић



УЉЕ КУКУРУЗА КАО СИРОВИНА ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОДИЗЕЛА

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ У ЛЕСКОВЦУ
СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ
ОГРАНАК САНУ У НИШУ

Влада Б. Вељковић, Милан О. Биберџић,
Ивана Б. Банковић-Илић, Оливера С. Стаменковић

УЉЕ КУКУРУЗА КАО СИРОВИНА
ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОДИЗЕЛА

Лесковац, 2022.

Монографија је резултат три пројекта:

- Фонда за науку САНУ, бр. Ф-78,
- Огранка САНУ у Нишу, бр. 0-14-18
- МПНТР Републике Србије, бр. 451-03-68/2022-14, група III 45001

Базирана на научним радовима истраживача и прегледу објављених истраживања у датој области

Renewable and Sustainable Energy Reviews 91 (2018) 531–548



ICChemE
ADVANCING
CHEMICAL
ENGINEERING
WORLDWIDE

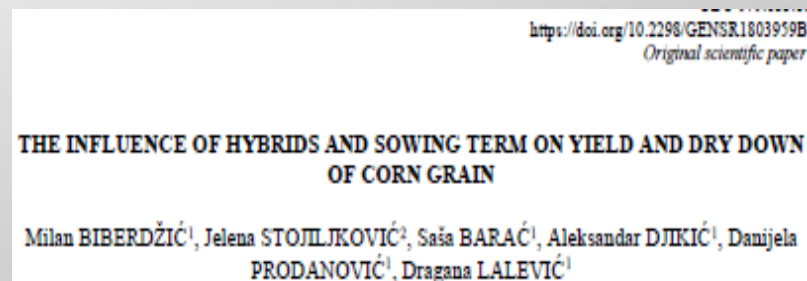
Biodiesel production from corn oil: A review

Vlada B. Veljković^{a,*}, Milan O. Biberdžić^b, Ivana B. Banković-Ilić^a, Ivica G. Djalović^c,
Marija B. Tasić^a, Zvonko B. Nježić^d, Olivera S. Stamenković^a



Kinetic, thermodynamic and optimization study of the corn germ oil extraction process

Olivera S. Stamenković^a, Milan D. Kostić^a, Marija B. Tasić^a,
Ivica G. Djalović^b, Petar M. Mitrović^b, Milan O. Biberdžić^c,
Vlada B. Veljković^{a,d,*}



Значајне техничке одлике

- 328 страница формата Б5
- На српском језику ћирилицом, фонт Times New Roman (12 pt)
- 15 слика и 39 табела:
 - јасни називи, систематична дискусија у тексту
 - прегледни и прецизни прикази
 - повезаност са текстом
 - нумерација растућим редом у тексту, посебно за свако поглавље
- Страна имена: навођена у транскрибованом облику
- Списак коришћене литературе: дат на крају књиге према ABCD-ном редоследу
- Референце аутора (укупно 25), категорије:
M21a = 8, M21 = 10, M23 = 2, M24 = 1, M51 = 2, M52 = 2

Садржај монографије

	Наслов
1	Увод
2	Значај, порекло, класификација, морфолошка својства, структура зрна, фенолошке фазе и етапе органогенезе, агроеколошки услови производње, технологија гајења и употреба кукуруза
3	Прерада кукуруза ради добијања кукурузног брашна, клица и суве џибре
4	Добијање уља из кукурузних зрна, клица, влакана и џибре
5	Производња биодизела од кукурузног уља
6	Моделовање и оптимизација производње биодизела од кукурузних уљаних сировина
7	Могућности унапређења процеса производње биодизела
8	Својства биодизела од кукурузног уља
9	Еколошки, социо-економски и политички аспекти производње и употребе биогорива од кукурузног уља
	Литература
	Кратак преглед (Summary)
	Списак табела
	Списак слика

1. УВОД



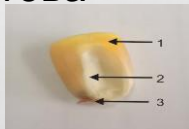
- Дефиниција и предности примене биодизела као биообновљивог извора енергије.
- Проблематика употребе кукурузног уља у производњи биодизела.
- Методе добијања кукурузног уља из клица, целих зрна и џибре.
- Наведени подаци за САД (2019) о:
 - потрошњи кукуруза за добијање етанола (140 милиона тона),
 - количини издвојене џибре као споредног производа (22,6 милиона тона) и
 - количини издвојеног уља из џибре (1,85 милиона тона).а циљ је: потенцијал кукурузног уља као сировине за производњу биодизела.
- Негативне стране биодизела на бази кукурузног уља: утицај на цену хране.



2. Значај, порекло, класификација, морфолошка својства, структура зрна, фенолошке фазе и етапе органогенезе, агроеколошки услови производње, технологија гајења и употреба кукуруза

Дат опис:

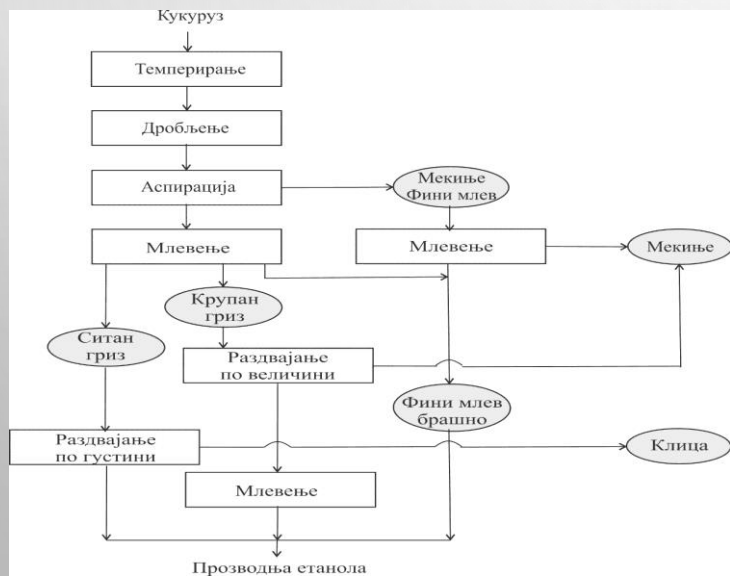
- кукуруза као сировине за производњу биодизела и значај његовог гајења,
- порекла и класификације (таксономске категорије),
- морфологије и кореновог система, стабла, листа, цвасти и плода (зрно), дефинисање структуре (хемијског састава) зрна са нагласком на уље (његова економски највреднија компонента),
- фаза раста вегетативних органа и развића репродуктивних органа,
- утицаја агроеколошких услова (квалитет земљишта, температура, вода и светлост) на раст и развој биљке,
- технолошких мера гајења (плодоред, обрада земљишта, исхрана, избор хибрида, сетва, нега), време бербе и начин складиштења и
- могућности употребе кукуруза у исхрани људи и стоке и разним гранама индустрије (посебно индустрији биогорива).



Дати: најновији подаци о површинама и приносима кукуруза у свету и Србији.

3. Прерада кукуруза ради добијања кукурузног брашна, клица и суве џибре

- 3–5% уља у кукурузном зрну, углавном у кукурузној клици (око 80%).
- Из издвојених клица: најпре сирово, а потом рафинисано уље.
- Методе:
 - прерада зрна кукуруза (суво и мокро млевење са исклицавањем) ради добијања брашна и клица и
 - добијање суве џибре као споредног производа добијања етанола из кукурузног зрна (после ферментације и дестилације етанола из влажне џибре).



Шема процеса сувог млевења са исклицавањем



Шема процеса мокрог млевења

4. Добијање уља из кукурузних зрна, клица, влакана и џибре

Квалитет и количина уља: зависна од методе издвајања.

Технике добијања уља (табеларни и описни преглед):

- механичко пресовање,
- екстракција растварачем (хексан, етанол, вода или вода-ензим) и
- наткритична екстракција (CO_2).
- Хладно и топло **пресовање**: једноставно, погодно за велике капацитете.
Недостатак: приноси уља мали а енергетски захтеви велики.
- Екстракција уља **растварачима**: ефикасна, високи приноси, добар квалитет уља и сачме (примена воде као растварача = „зелени“ процес, економичан).
Недостаци примене:
 - органских растварача: небезбедно, са еколошким ризицима и скупо,
 - воде: мало ефикасно, низак квалитет и непријатан мирис уља,
 - ензима: висока цена, неекономично.

- Екстракција **наткритичним CO₂**: безбедна, висококвалитетна уља, добар принос уља, CO₂ са ниском ценом, лако доступан, лако се одваја из производа.

Недостатак:

- скупа опрема за рад под високим притиском и
- велики оперативни и капитални трошкови.

Посебан значај дат:

- оптимизацији екстракције (кукурузних зрна етанолом, клица хексаном и клица и џибре хексаном или наткритичним CO₂),
- моделовању кинетике екстракције (мацерације клица хексаном и екстракције уља из клица и суве џибре наткритичним CO₂),
- термодинамичкој анализи процеса екстракције и
- саставу и својствима добијеног уља.

5. Производња биодизела од кукурузног уља

- Размотрена производња биодизела (реакција трансестерификације) из:
 - чистог кукурузног уља,
 - отпадног, коришћеног кукурузног уља и
 - уља екстрахованог из кукурузне џибре.
- Подела реакција:
 - катализоване (хомогено, хетерогено или ензимски) и
 - некатализоване (наткритичне).
- Дат табеларни преглед реакција трансестерификације у зависности од процесних фактора:
 - врста алкохола и сировине,
 - молски однос уља и алкохола,
 - врста и концентрација катализатора,
 - температура и притисак,
 - време реакције,
 - брзина мешања и
 - садржај слободних масних киселина и воде у уљу.

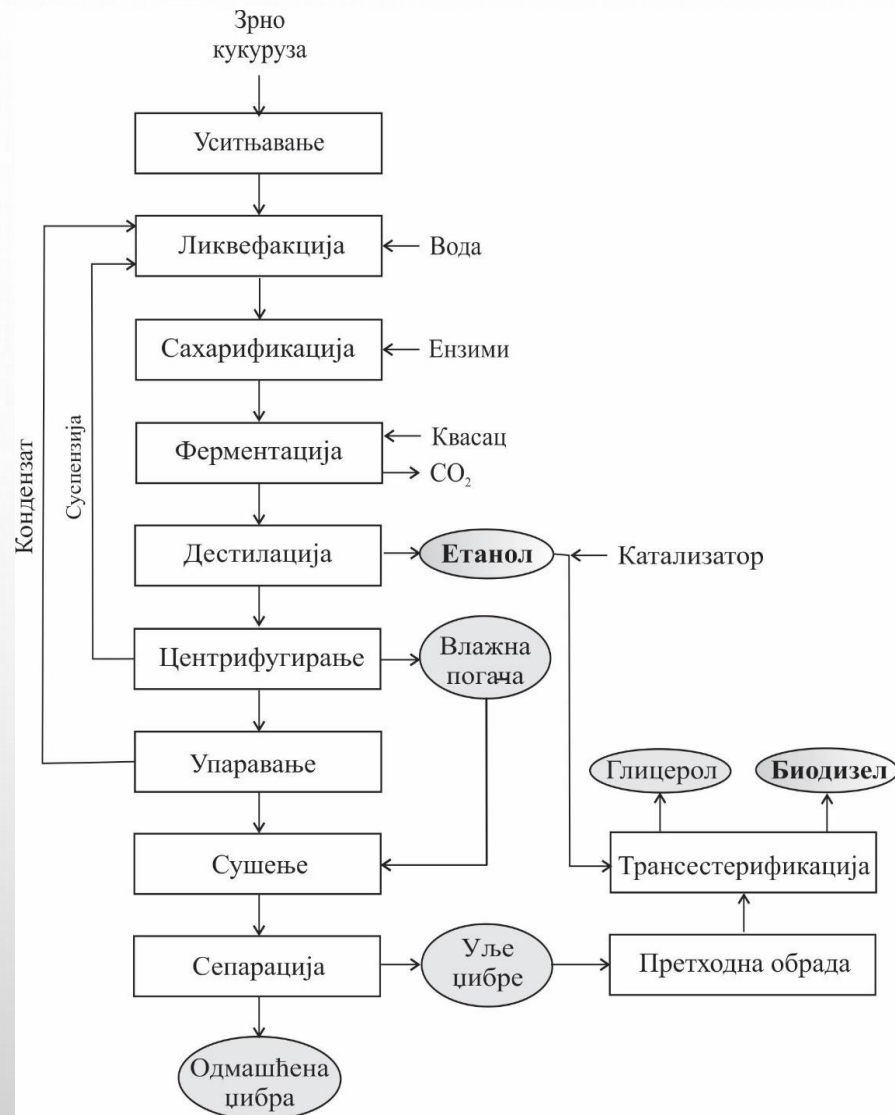
6. Моделовање и оптимизација производње биодизела од кукурузних уљаних сировина

- Дат преглед радова статистичког моделовања и оптимизације производње биодизела из кукурузних уљаних сировина уз примену различитих експерименталних планова:
 - Тагучи ортогонални низ, централни композитни план, пун факторијелни план, фракциони факторијелни план и Бокс-Бенкенов план.
- Размотрено моделовање кинетике реакције трансестерификације кукурузних уљаних сировина (табеларни преглед):
 - хомогене базне и киселе,
 - хетерогене базне и
 - ензимске катализе.
- Механизам реакције комплексан:
 - три узастопне повратне реакције,
 - поједностављење: модел реакције псеудо-првог или другог реда (у односу на један или оба реактанта).

7. Могућности унапређења процеса производње биодизела

- ***In situ*** процеси (истовремена екстракција и трансестерификација): ретко коришћени али повољни (мала количина растварача за екстракцију уља из клица, смањени производни трошкови).
- **Ултразвучна енергија, микроталасно зрачење и јонске течности:** смањено време реакције, већи принос.
- **Корастварачи:** повећање мешљивости реактаната и брзине реакције уз смањење међуфазног отпора масе.
- **Мембранске технологије** (интегрисани процес производња/сепарација биодизела): минимизирање оперативних и капиталних трошкова, трошкова пречишћавања и потребе за рециклирањем алкохола.
- **Интеграција процеса** производње биодизела и биоетанола (биорафинерије): смањење трошкова транспорта и набавке сировина, спајање токова копроизвода, повећање прихода.

Интегрисана производња етанола и биодизела од кукуруза



8. Својства биодизела од кукурузног уља

- Физичка (густина, вискозност, површински напон, индекс рефракције)
- Термофизичка (цетански број, тачка паљења и запаљивости, замућења, филтрабилности, течења, температура дестилације, топлотна вредност, остатак угљеника)
- Хемијска (хемијски састав, укупне нечистоће, корозија бакарне траке, киселински број, јодни број, сапонификациони број, пероксидни број, оксидациона стабилност)
- Горива, од којих зависе:
 - перформансе мотора (однос ваздух/гориво, индикаторска и ефективна снага мотора, степен корисности),
 - перформансе сагоревања (температура издувних гасова, максимална топлотна снага и притисак у цилиндру, кумулативно ослобађање топлоте) и
 - емисионе карактеристике (гасови са ефектом стаклене баште, базни и кисели гасови, отровне супстанце, неметанска испарљива једињења).

Описани стандарди квалитета биодизела (табеларни приказ са границама и методама):

- ASTM (дефинисан од Americal Society for testing and Materials)
- EN 14214 (дефинисан од Европског комитета за стандардизацију).

9. Еколошки, социо-економски и политички аспекти производње и употребе биогорива од кукурузног уља

- За фазе гајења и прераде кукуруза у транспортна биогорива (биодизел и биоетанол) разматрани:
 - економски,
 - друштвени и
 - аспекти заштите животне средине.
- Циљ је дефинисати политику, сврху, задатке и рокове за сваки део процеса да би се применом упутстава за употребу и добре производне праксе :
 - смањиле или елиминисале емисије у ваздух и водотокове,
 - правилно управљало земљиштем (смањењем примене пестицида и минералних ђубрива),
 - смањила употреба необновљивих енергија за рад машина (при гајењу, преради и транспорту сировина или дистрибуције биогорива).

Значајно место у спроведеним анализама заузимају:

- интеракције узгајања и прераде кукуруза и животне средине и
- њихов утицај на комбиноване енвиронменталне и друштвено-економске аспекте

од значаја за садашње стање и будућа усмерења одрживог развоја људског друштва.

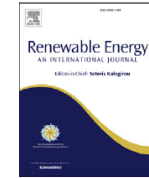
Монографија је призната од стране Матичног научног одбора за материјале и хемијске технологије МПНТР Републике Србије као истакнута монографија националног значаја



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

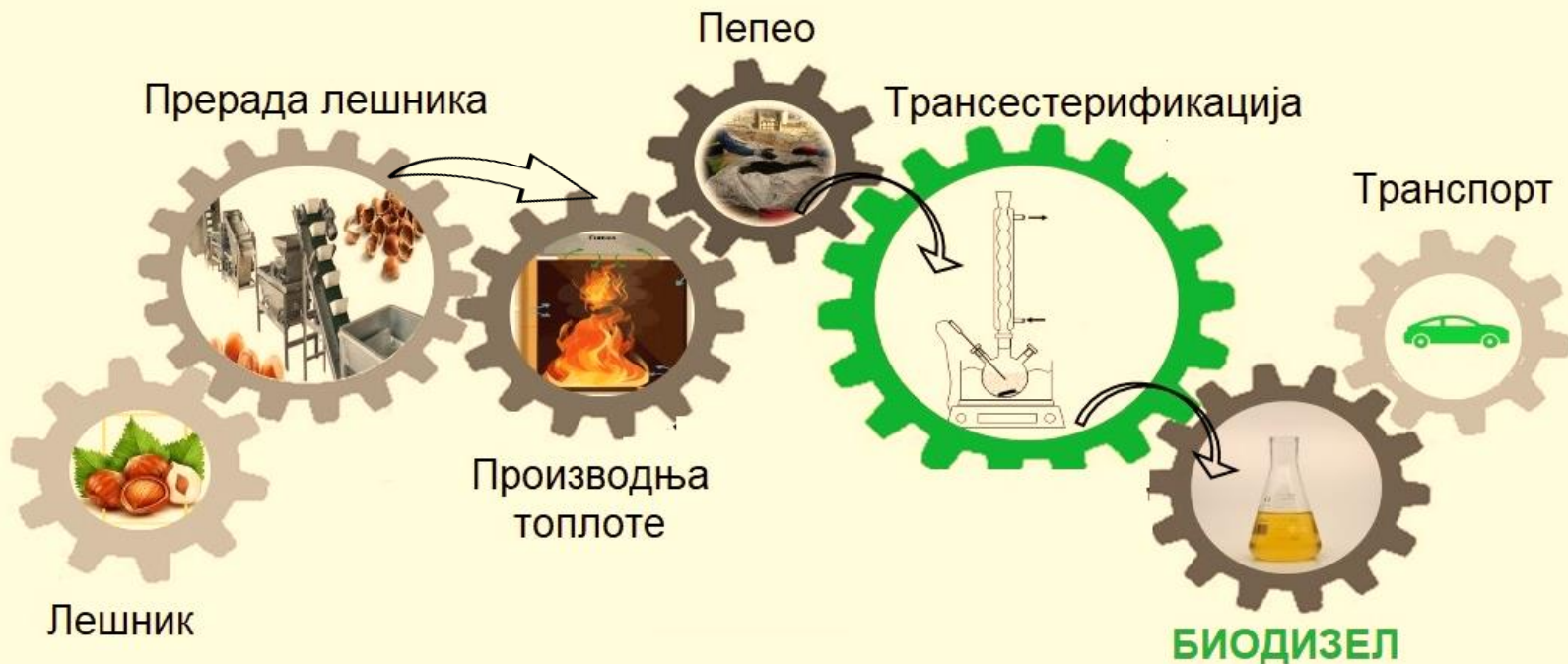
Renewable Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene

Transesterification of used cooking sunflower oil catalyzed by hazelnut shell ash

Marija R. Miladinović^a, Jugoslav B. Krstić^b, Miodrag V. Zdujić^c, Ljiljana M. Veselinović^c, Djordje N. Veljović^d, Ivana B. Banković-Ilić^e, Olivera S. Stamenković^{e,*}, Vlada B. Veljković^{e,f}

Пепео као катализатор у производњи биодизела



Припрема катализатора

- Сагоревање љуски лешника на традиционалан начин
- Уситњавање и калцинација насталог продукта сагоревања (биоугља) у пећи за жарење на 800°C у трајању 2h

⇒ Термичка својства

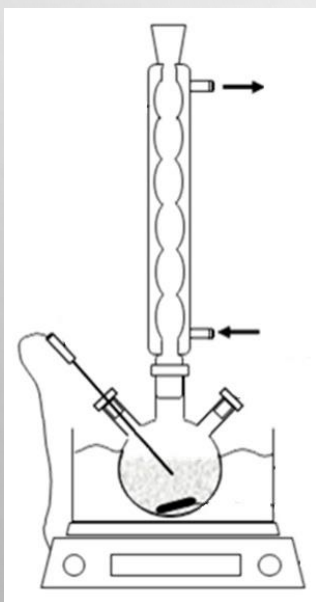
TG/DTA (Setsys, SETARAM Instrumentation, Caluire, France) у температурном опсегу 20–700 °C, при брзини загревања од 20 °C min⁻¹

⇒ Елементарни састав пепела

EDX Енергетска дисперзиона спектроскопија X-зрака (Oxford Inca 3.2 EDX)

⇒ Фазни састав пепела

XRD (Philips PW 1050 X-ray дифрактометар геометријском извором радијације Cu K_{α1.2} ($\lambda=1,54178 \text{ \AA}$) у опсегу угла дифракције 2 θ од 10-90°, кораком од 0,01° са временским интервалом од 5 s).



⇒ Метанолиза сунцокретовог уља

Реакциони услови:

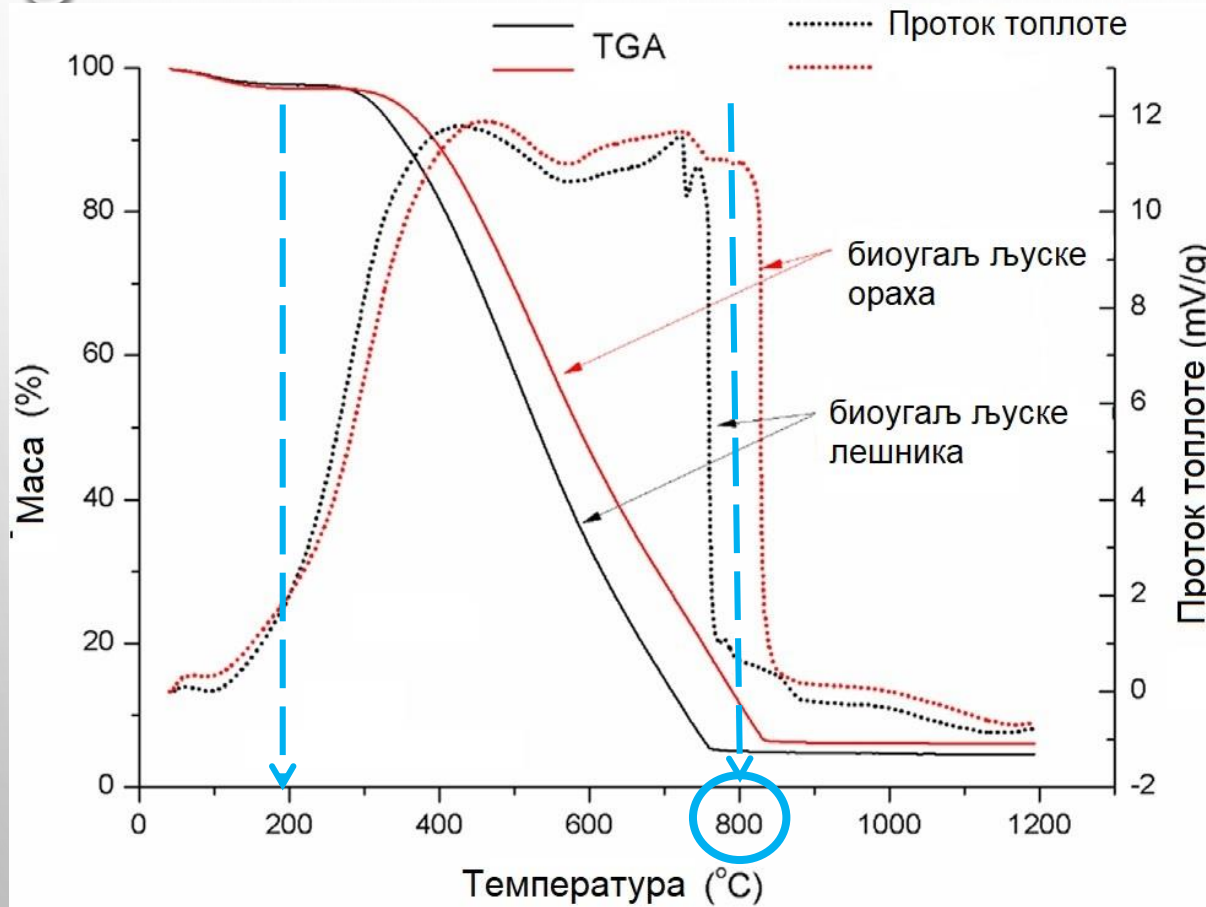
Молски однос метанол:уље: 6:1, 12:1, 18:1

Количина катализатора: 1, 3 и 5% (у односу на масу уља)

Температура реакције: 60 °C

РЕЗУЛТАТИ

Термичка својства



~200 °C – Процес сушења

Уклањање влаге и једињења мање молекулске масе

~770 °C – Губитак масе 95%

Разградња целулозе, хемицелулозе и лигнина

>770 °C – Не долази до промене масе

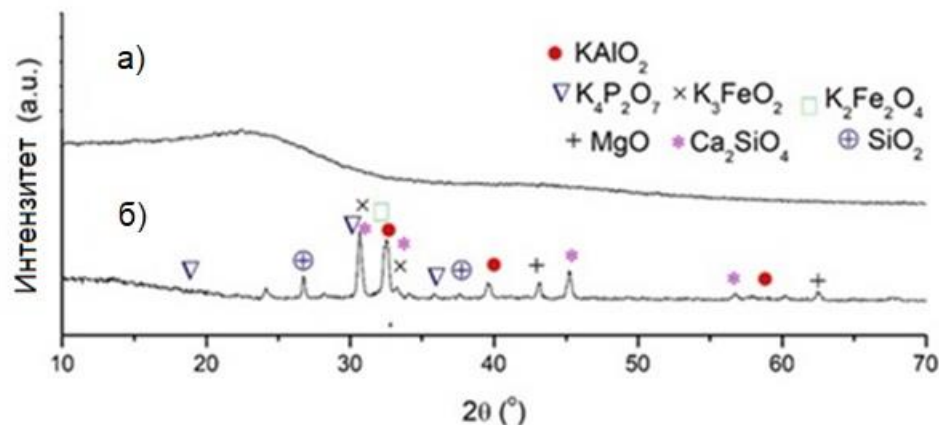
Слика 1. TG/DTA профил биоугља љуске лешника поређен са профилем пепела љуске ораха

Елементарни и фазни састав пепела

Табела 1. Елементарни састав пепела љуски лешника

Елемент	EDX (Елемент, %)
O	51,55
K	26,29
Ca	11,62
Mg	6,77
P	6,10

⇒ **K** и **Ca** су детектовани као најзаступљенији елементи што указује на њихову улогу у катализи



(а) амфорна структура биоугља

(б) кристална структура пепела

Група I: оксиди K, Ca и Mg

Група II: калцијум силикати

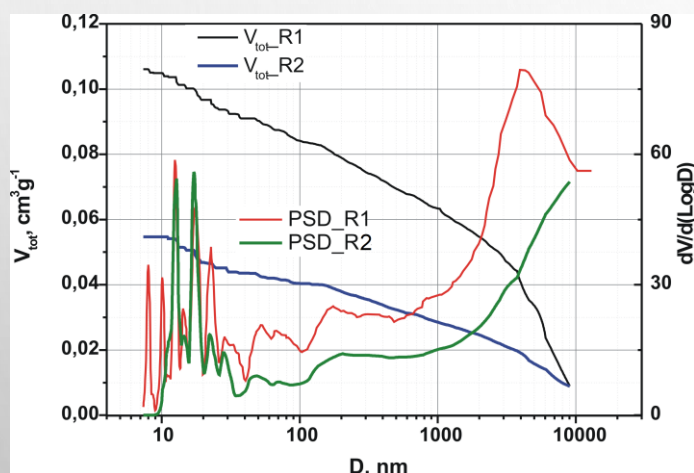
Група III: сложене кристалне фазе K, Ca и Mg

Слика 2. XRD профили биоугља (а) и пепела љуске лешника (б)

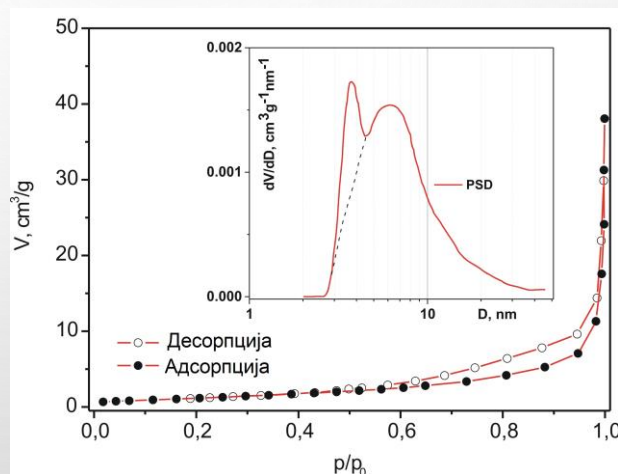
Текстуралне и морфолошке карактеристике

Табела 2. Текстуралне карактеристике пепела љуске лешника

Узорак	Циклус	Hg порозиметрија					N ₂ физисорпција на 77 K		
		V _{tot-Hg} , mm ³ /g	ρ _{app} , g/cm ³	ρ _{bulk} , g/cm ³	SSA _{Hg} , m ² /g	P, %	V _{mes} , m ³ /g	V _{mic} , mm ³ /g	SSA _{BET} , m ² /g
Пепео	R1	106	1.910	1.588	4.5	16.9	18	2	4.9
	R2	55	1.910	1.729	3.0	9.5			



Слика 3. Живина порозиметрија и расподела величине пора пепела љуске лешника

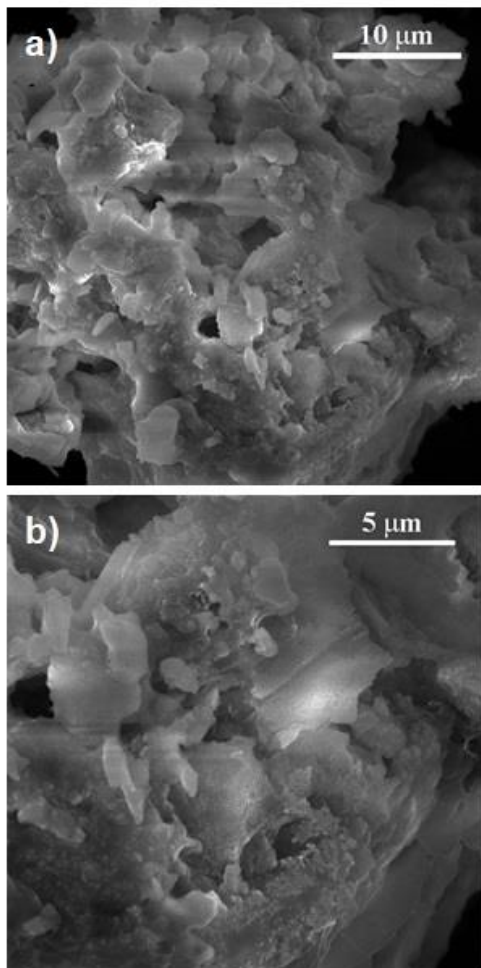


Слика 4. N₂ адсорпционе-десорпционе изотерме пепела љуске лешника

- Значајно смањење укупне запремине у другом циклусу интрузије што указује на постојање пора између честица у материјалу
- Мала вредност специфичне површине

Мала вредност специфичне површине може се очекивати услед агломерације честица током калцинације на високој температури

Текстуралне и морфолошке карактеристике



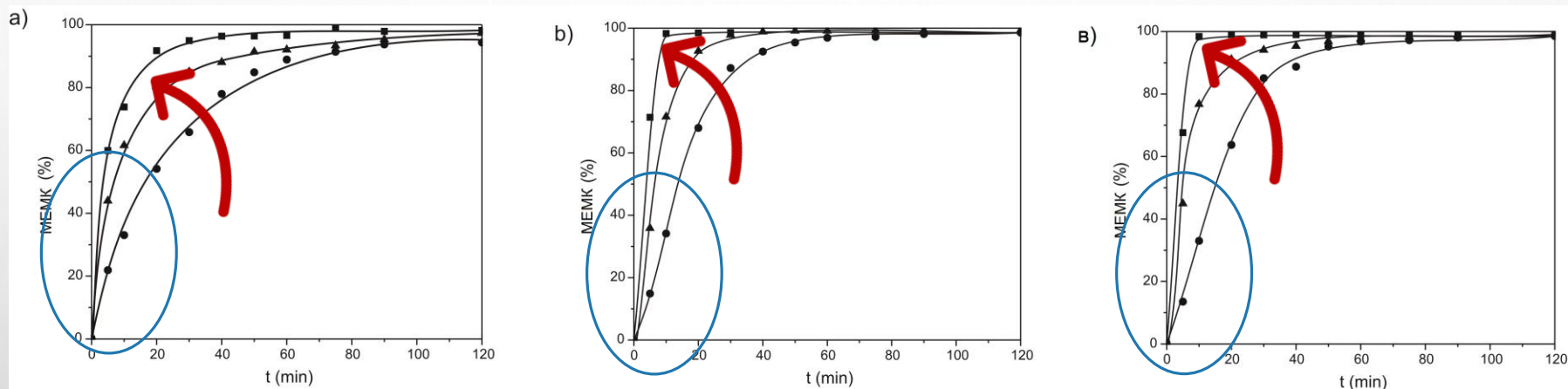
- Сложен систем агломерата микронских и субмикронских димензија, неправилних облика и неравном површином.
- Запажају се и поре.
- Оваква морфологија и текстура су типичне за пепео биомасе.

Базна јачина пепела: $11 < H_+ < 15$

Укупна базност пепела: 1,03 mmol/g

Слика 5. СЕМ микрографи пепела љуске лешника при увећању 5000 (а) и 10000 (б)

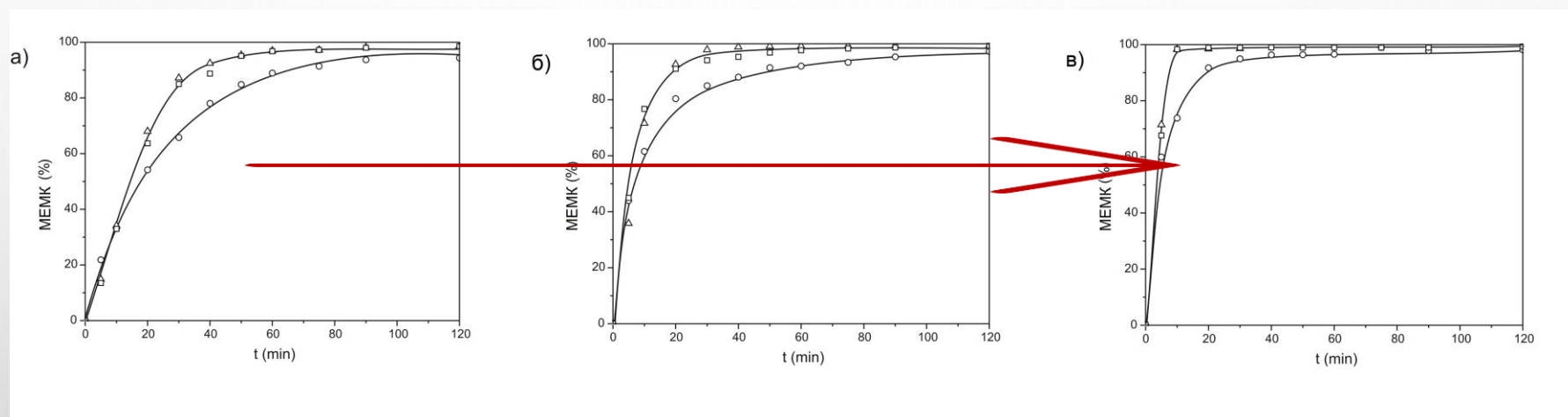
Метанолиза уља катализована пепелом лјуске лешника



Слика 6. Утицај количине катализатора (1% - ●, 3% - ▲ и 5% - ■) на садржај MEMK при различитим молским односима 6:1 (а), 12:1 (б) и 18:1 (в)

- Ограничење преноса масе не постоји на почетку реакције
- Садржај MEMK се повећава са повећањем количине катализатора од 1 до 5%
- Брзина реакције се повећава са повећањем количине катализатора

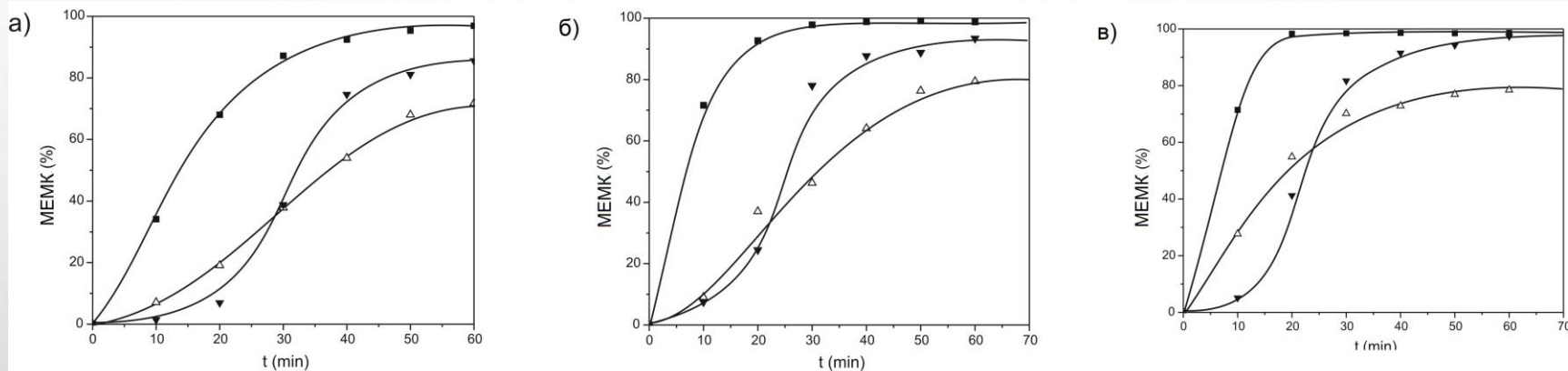
Метанолиза уља катализована пепелом лјешника



Слика 7. Утицај молског односа метанол:уље (6:1 - ○ , 12:1 - △ и 18:1 - □) на садржај MEMК при различитим количинама катализатора 1% (а), 3% (б) и 5% (в)

- Садржај MEMК и брзина реакције се повећавају са повећањем молског односа метанол:уље од 6:1 до 12:1, даље повећање до 18:1 нема значајног утицаја при различитим количинама катализатора
- Трајање реакције се скраћује са повећањем молског односа метанол:уље од 6:1 до 18:1

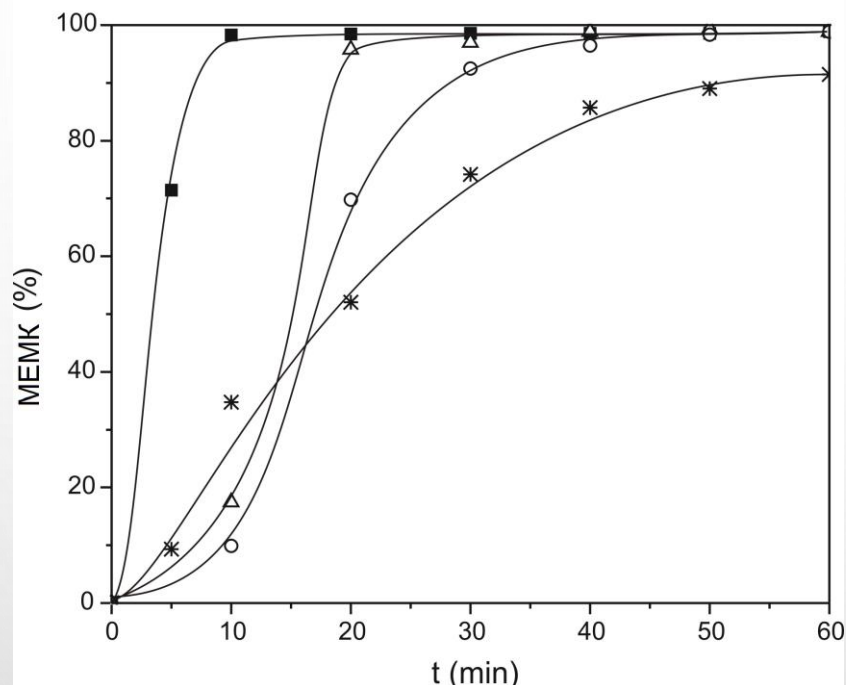
Поновно коришћење катализатора



Слика 8. Промена садржаја MEMK у току реакције катализоване свежим катализатором (■), лужином (△) и остатком чврстог катализатора (▼) при различитим количинама катализатора 1% (а), 3% (б) и 5% (в) и молском односу метанол:уље 12:1

- Допринос хомогене катализе услед излуживања катализатора смањењу отпора преносу масе на почетку реакције
- Реакција катализована остатком чврстог катализатора је бржа у односу на реакцију катализовану лужином при истим реакционим условима

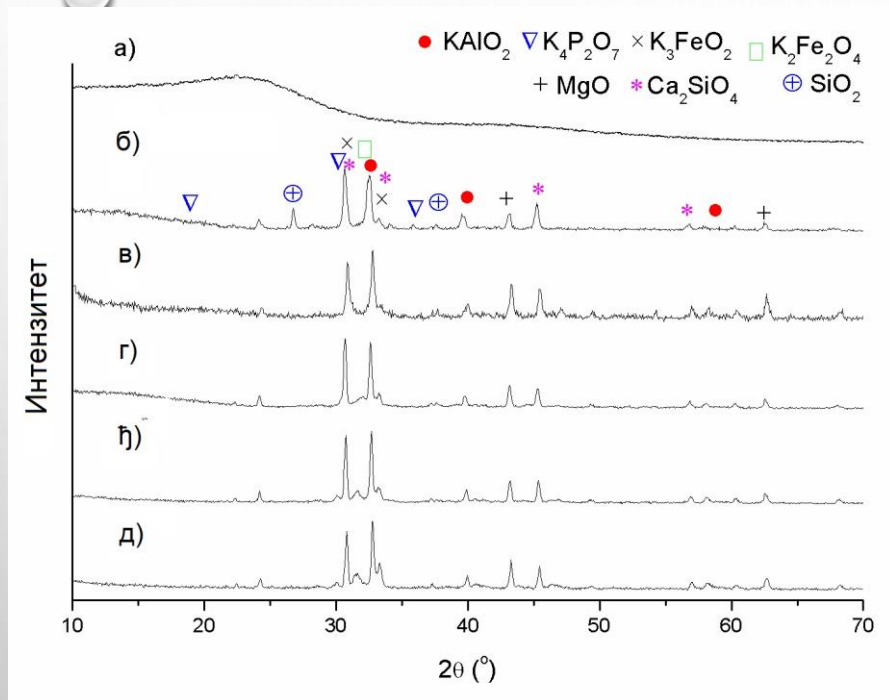
Поновно коришћење катализатора



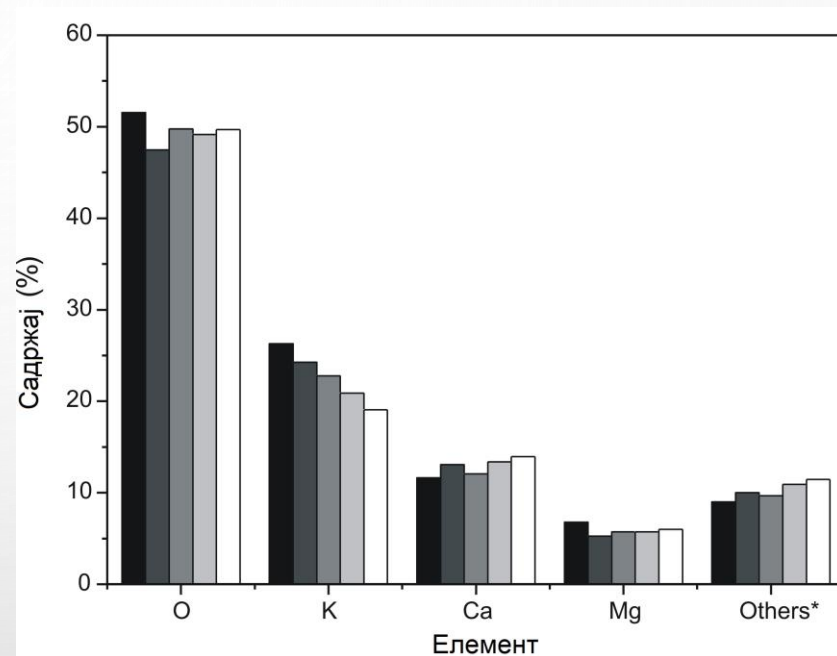
Слика 9. Поновно коришћење катализатора без (*) и са рекалцинацијом између узастопних реакција: прва (■), друга (△) и трећа (○) (количина катализатора 5% и молски однос метанол:уље 12:1)

- Значајно нижи садржај MEMK је постигнут у реакцији катализоване катализатором без рекалцинације
- Након рекалцинације катализатор показује бољу каталитичку активност, али потребно је дуже време да се постигне максимални садржај MEMK

Поново коришћење катализатора



Слика 10. XRD профил свежег катализатора (б), без (в) и после рекалцинације (г, ђ, д)



Слика 11. Елементарни састав свежег (црна), без (тамно сива), после рекалцинације (сива – прва, светл сива- друга, бела – трећа реакција)

- Није запажена промена фазног састава катализатора, али долази до смањења садржаја K у катализатору при поновном коришћењу

Анализа кинетике метанолизе уља катализоване пепелом љуске лешника

Модел псеудо-првог реда

$$(-r_A) = -\frac{dc_A}{dt} = k_{app} \cdot c_A$$

$$c_A = c_{A0} \cdot (1 - x_A)$$

$$-\ln(1 - x_{TAG}) = k_{app} \cdot t + C$$

$$k_{app} = k \cdot c_{cat} \cdot c_{MeOH}$$

$$0.0576 \text{ dm}^6/(\text{min} \cdot \text{mol}^2)$$

							Без рекалцинације		Са рекалцинацијом – друга реакција			Са рекалцинацијом – трећа рекалцинација		
Количина катализатора (%)	k_{app} (min ⁻¹)	$k_{app,L}$ (min ⁻¹)	R ²	$k_{app,S}$ (min ⁻¹)	C	R ²	k_{app} (min ⁻¹)	R ²	$k_{app,II}/k_{app,II*}$ (min ⁻¹)	C	R ²	$k_{app,III}/k_{app,III**}$ (min ⁻¹)	C	R ²
1	0,052	0,006	0,991	0,044	0,100	0,942								
3	0,118	0,028	0,981	0,094	1,473	0,963								
5	0,258	0,042	0,987	0,108	1,534	0,990	0,048	0,994	0,219/0,216*	1,735	0,956	0,183/0,177**	2,524	0,93

Закључак

Предности

- Решење за одлагање отпадног пепела
- Јефтин материјал
- Замена за конвенционалне катализаторе (KOH) која се користе као катализатор
- Кратко време реакције
- Може се поново користити након рекалцинације

Недостаци

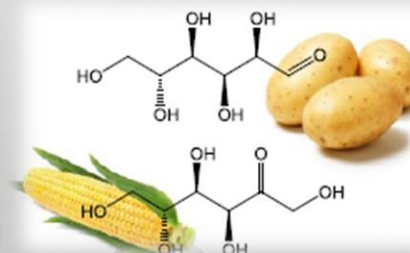
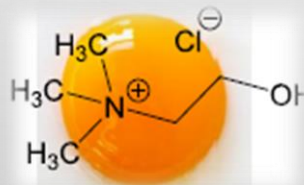
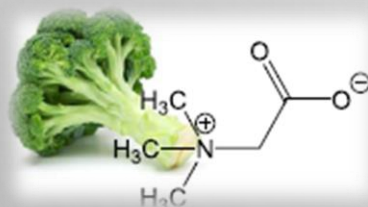
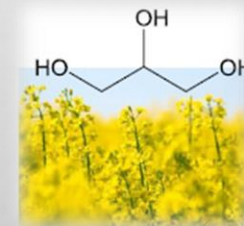
- Излуживање активних врста
- Биодизел захтева пречишћавање

Effects of temperature on physicochemical properties of the lecithin-based deep eutectic solvents and their use in the CaO-catalyzed transesterification

Zoran B. Todorović¹, Biljana S. Đorđević¹, Dragan Z. Troter¹, Ljiljana M. Veselinović², Miodrag V. Zdujić² and Vlada B. Veljković^{1,3}

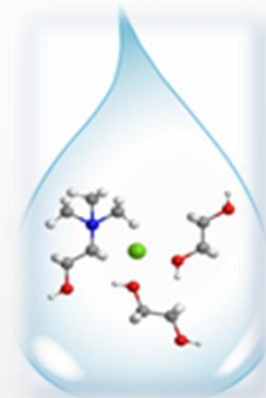
ЕУТЕКТИЧКИ РАСТВАРАЧИ

- Нова класа одрживих растварача
- Смеше најмање две компоненте (акцептора и донора)
- Незапаљиви, неиспарљиви, нетоксични, биоразградиви, термички стабилни
- Подесива физичкохемијска својства
- Јефтини



ПРИМЕНА ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА У ПРОИЗВОДЊИ БИОДИЗЕЛА

- ❖ Косолвенти
- ❖ Катализатори
- ❖ Растварачи у ензимски катализованој етанолизи
- ❖ Растварачи за пречишћавање биодизела
- ❖ Растварачи за претходну обраду сировина за добијање уља



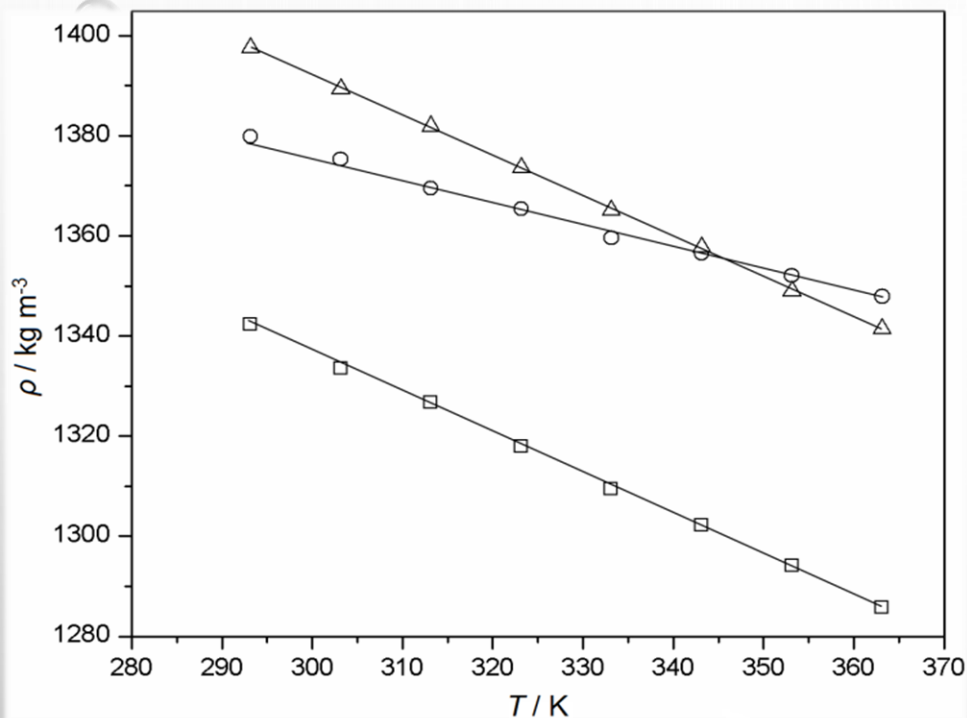
➡ Одличне мазивне способности

➡ Нижа тачка замућења ($3,5^{\circ}\text{C}$) и
нижа тачка мржњења (-15°C)

➡ Не захтева модификацију дизел
мотора

➡ Мања емисија оксида азота и угљоводоника

ГУСТИНА ПРИПРЕМЉЕНИХ ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА



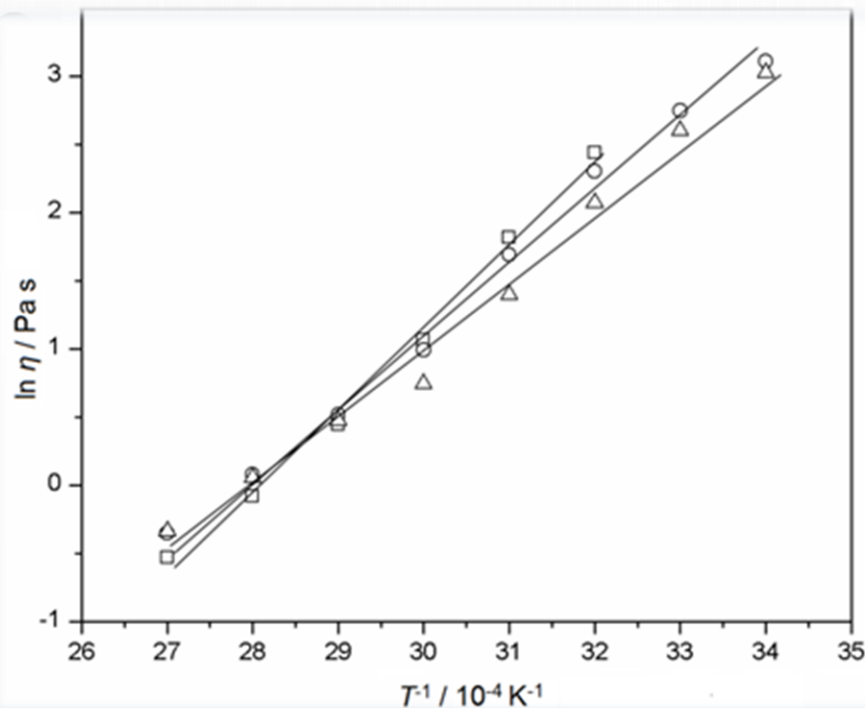
Распон густине: 1285,8–1397,6 kg·m⁻³

ЛЕЦ:Г < ЛЕЦ:ТЕОА < ЛЕЦ:ОЛА

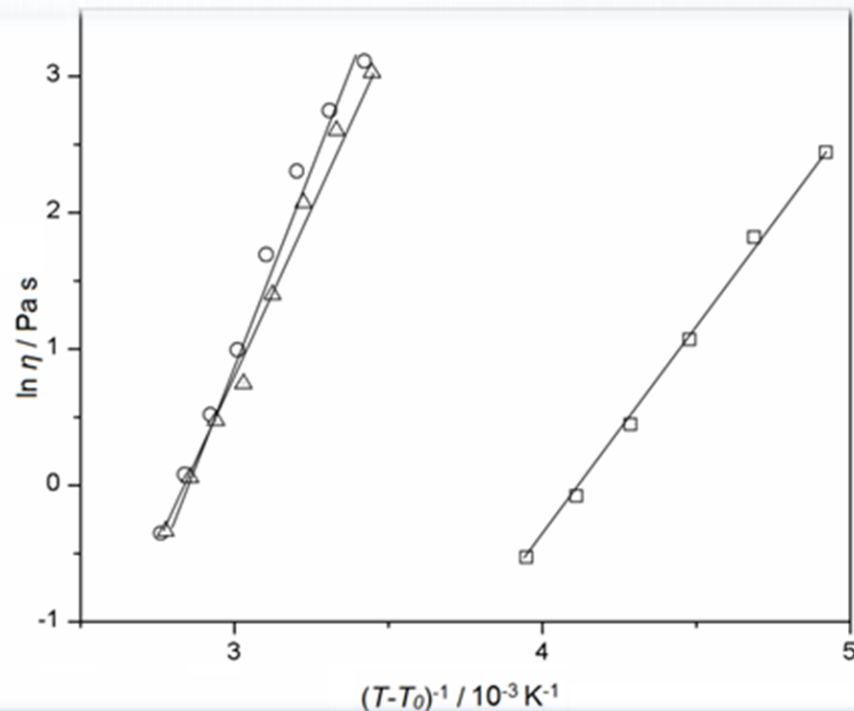
Утицај температуре на густину (ρ) еутектичких растварача: ЛЕЦ:Г – $\square$, ЛЕЦ:ТЕОА – $\circ$ и ЛЕЦ:ОЛА – $\triangle$.

Еутектички растварач	$V_m^*/\text{ nm}^3$	$U_{\text{pot}}^*/\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	$C_p^*/\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$
LEC:G	0,390	1178	450
LEC:TEAO	0,424	1141	485
LEC:OLA	0,528	1048	593

ВИСКОЗИТЕТ ПРИПРЕМЉЕНИХ ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА



Аренијусова зависност вискозитета еутектичких растварача: ЛЕЦ:Г – □, ЛЕЦ:ТЕОА – ○ и ЛЕЦ:ОЛА – △.

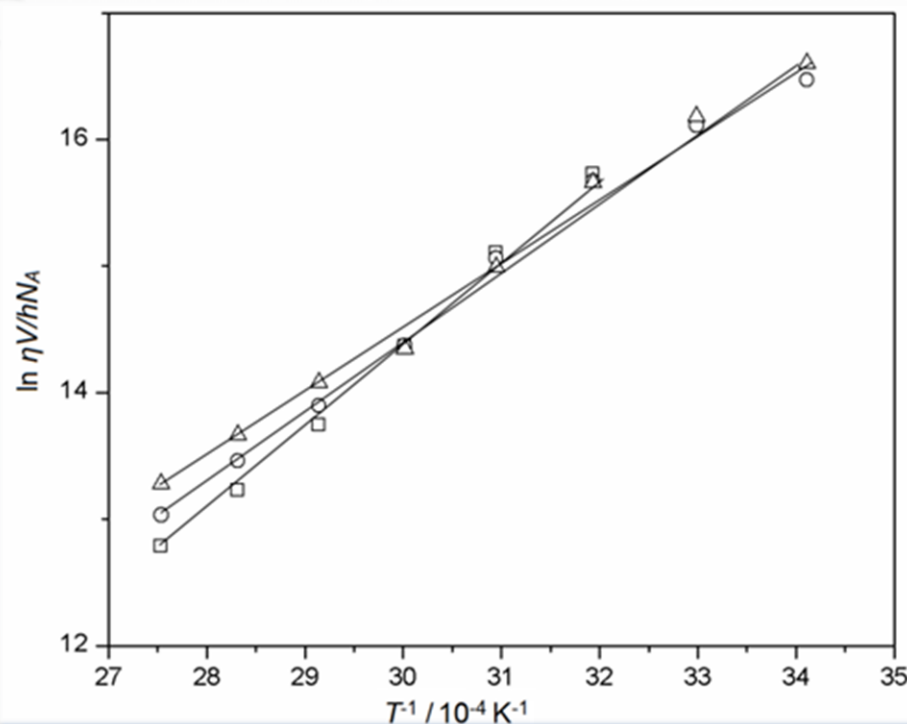


Вогел-Таман-Фулчерова зависност вискозитета еутектичких растварача: ЛЕЦ:Г – □, ЛЕЦ:ТЕОА – ○ и ЛЕЦ:ОЛА – △.

Распон вискозитета: 0,588–22,369 Pa·s

ЛЕЦ:ОЛЕ < ЛЕЦ:ТЕОА < ЛЕЦ:Г

ВИСКОЗИТЕТ ПРИПРЕМЛЕНИХ ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА

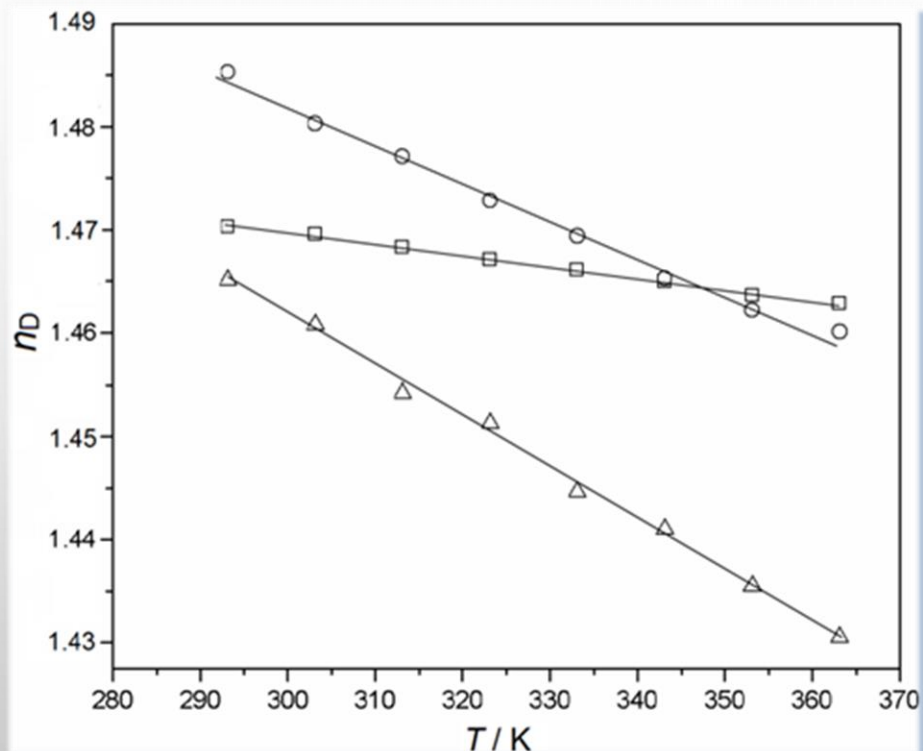


Еутектички растварач	R^2	$\Delta H^*/$ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$T\Delta S^*/$ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
ЛЕЦ:Г	0,997	56,7	-12,9
ЛЕЦ:ТЕАО	0,990	45,6	-2,4
ЛЕЦ:ОЛА	0,993	43,6	-0,5

*- на 313,15 К

График зависимости $\ln(\eta V/hNA)$ от T^{-1} за еутектичке раствораче: ЛЕЦ:Г – $\square$, ЛЕЦ:ТЕАО – $\circ$ и ЛЕЦ:ОЛА – $\triangle$.

ИНДЕКС РЕФРАКЦИЈЕ ПРИПРЕМЉЕНИХ ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВАРАЧА



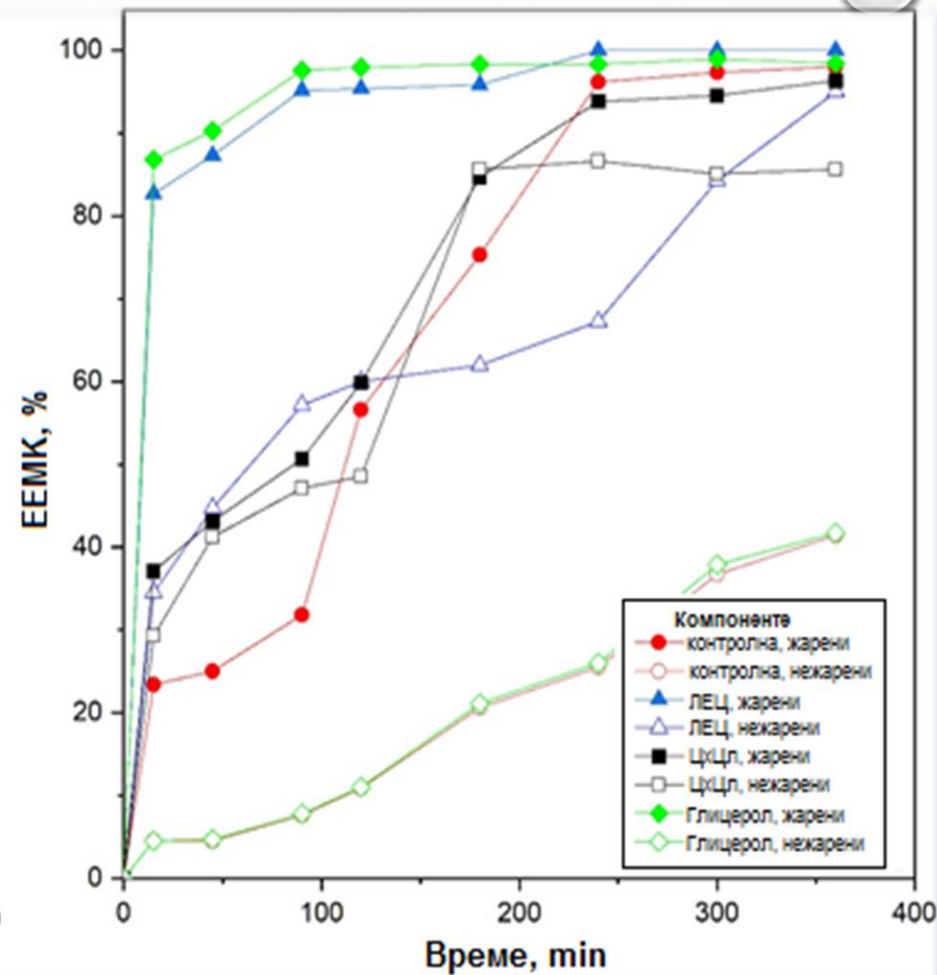
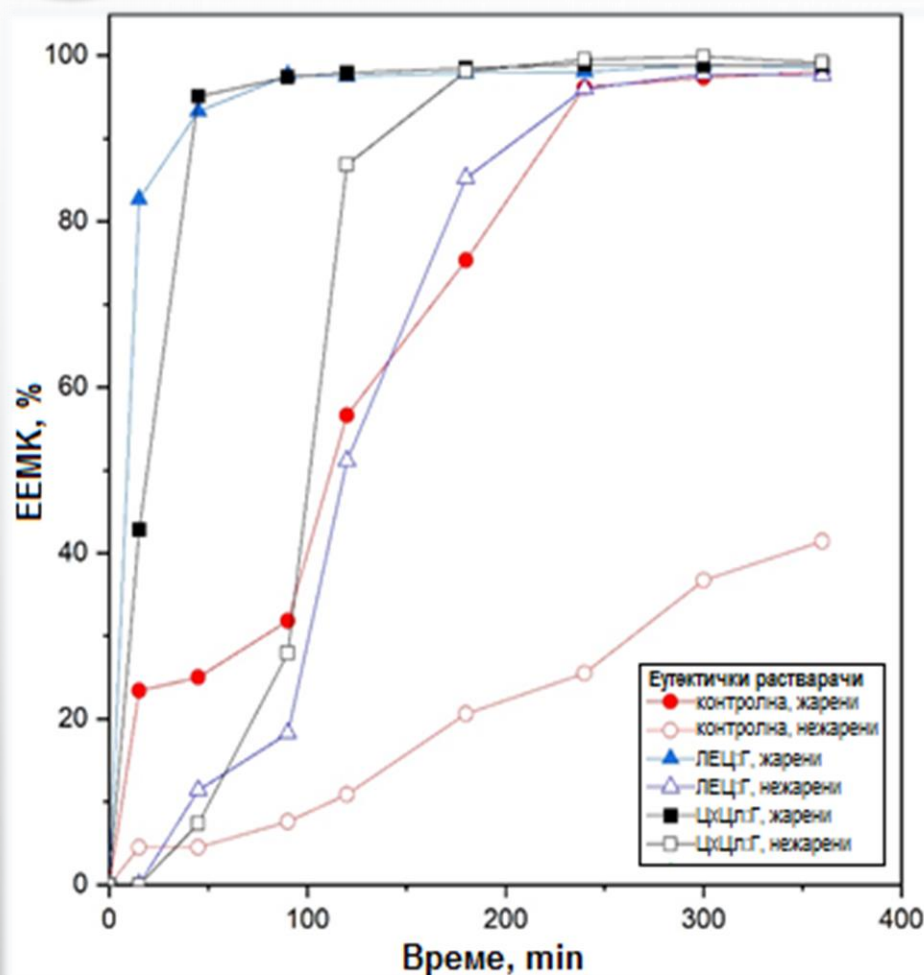
Распон
индекса рефракције: 1,4305–1,4853

ЛЕЦ:ОЛА < ЛЕЦ:Г < ЛЕЦ:ТЕОА

Утицај температуре на индекс рефракције (n_D)
еутектиких растварача: ЛЕЦ:Г – □, ЛЕЦ:ТЕОА – ○ и
ЛЕЦ:ОЛА – △.

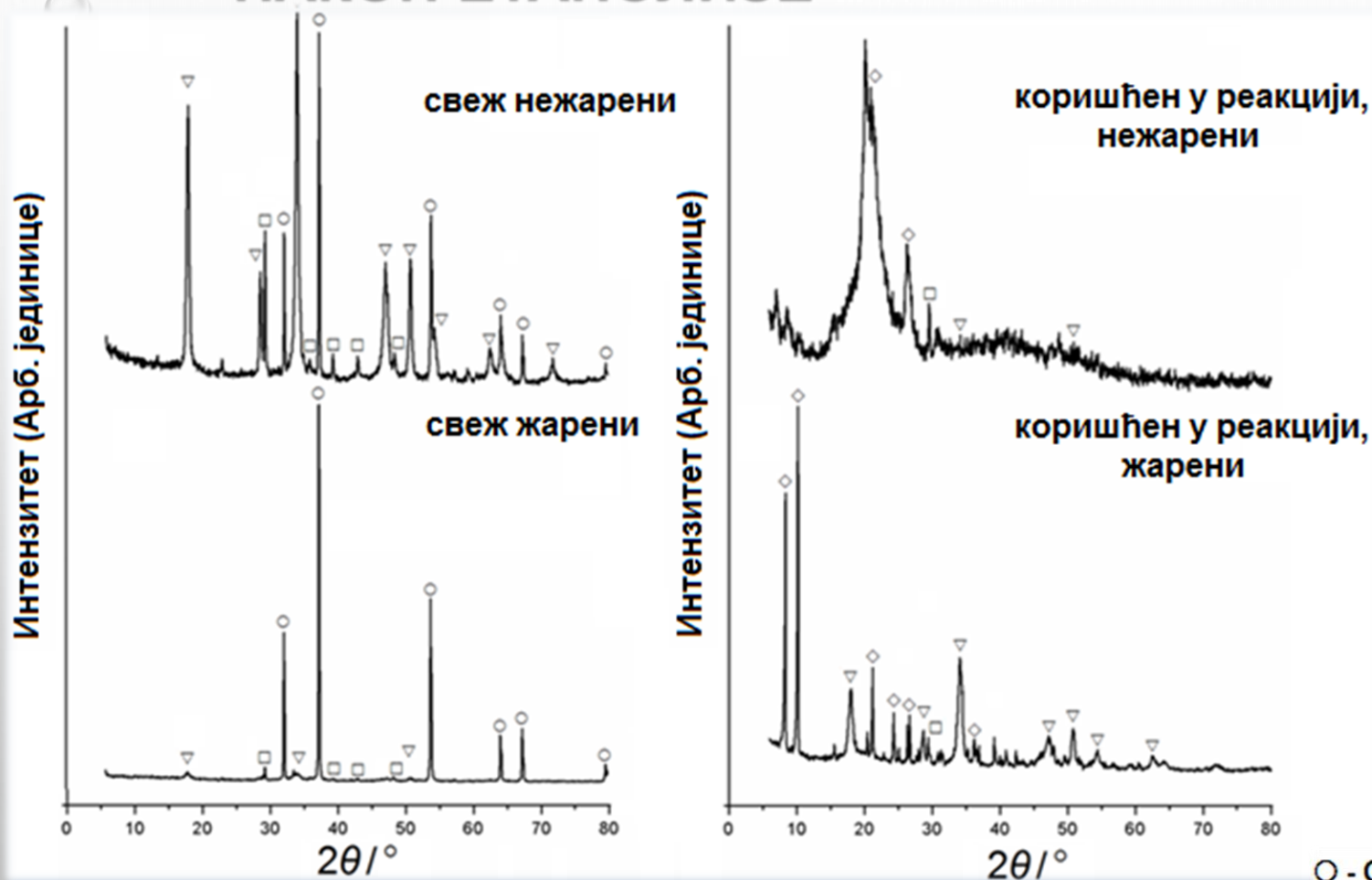
Еутектички растварач	$\nu / 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$A / 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$f_m / 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
ЛЕЦ:Г	20,40-20,51	64,86-66,78	167,48-175,77
ЛЕЦ:ТЕАО	20,20-20,55	84,76-86,94	180,97-188,60
ЛЕЦ:ОЛА	20,48-20,97	71,16-72,76	227,48-242,88

ЕТАНОЛИЗА ХЛАДНО ЦЕЋЕНОГ УЉА СЕМЕНА ЦРНЕ СЛАЧИЦЕ



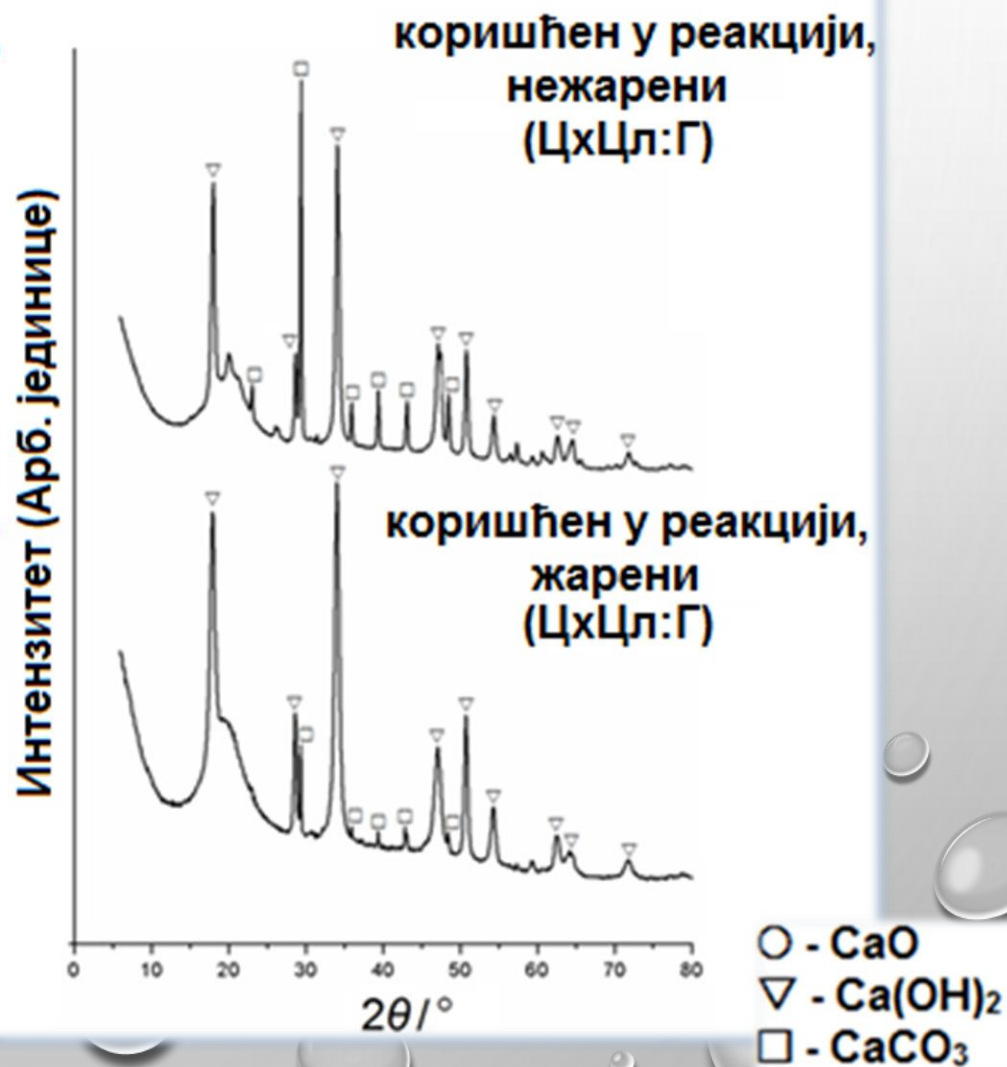
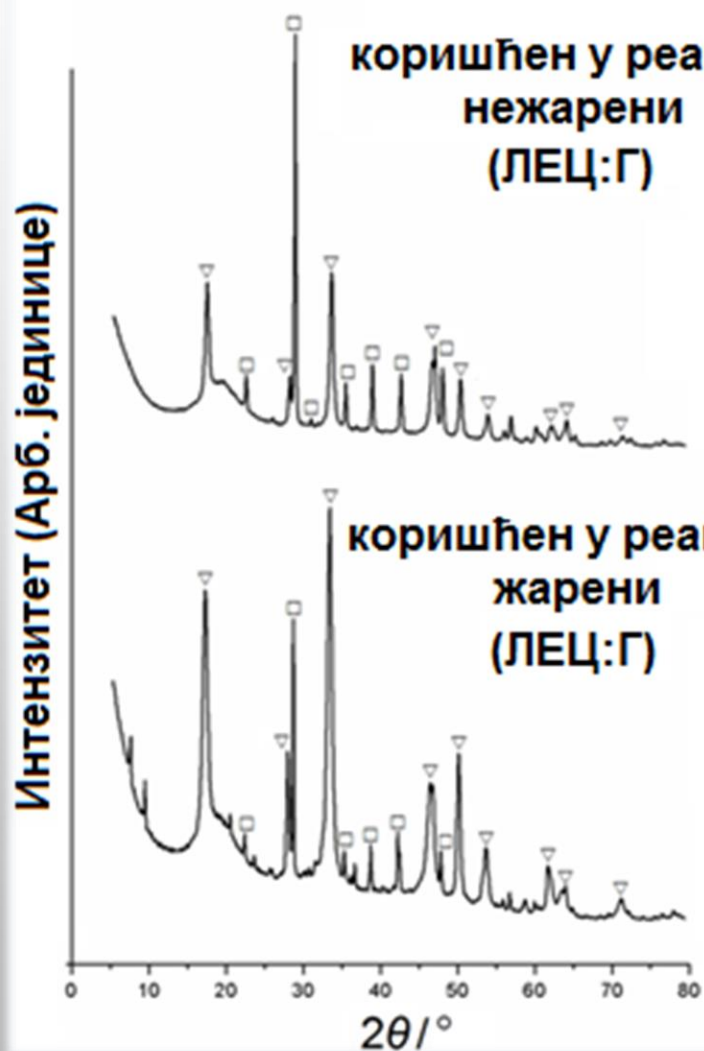
Промена садржаја ЕЕМК током етанолизе хладно цеђеног уља црне слачице, катализоване нежареним (празни симболи) или жареним (пуни симболи) СаО, без присуства или у присуству еутектичких растварача на бази ЛЕЦ, ЦхЦл или њихових полазних компоненти. Реакциони услови: температура 70 °С, молски однос етанол:уље 12:1, количина еутектичког растварача или полазне компоненте од 20% и количина СаО од 10% у односу на масу уља.

РЕНДГЕНСКА ДИФРАКЦИОНА АНАЛИЗА CaO НАКОН ЕТАНОЛИЗЕ

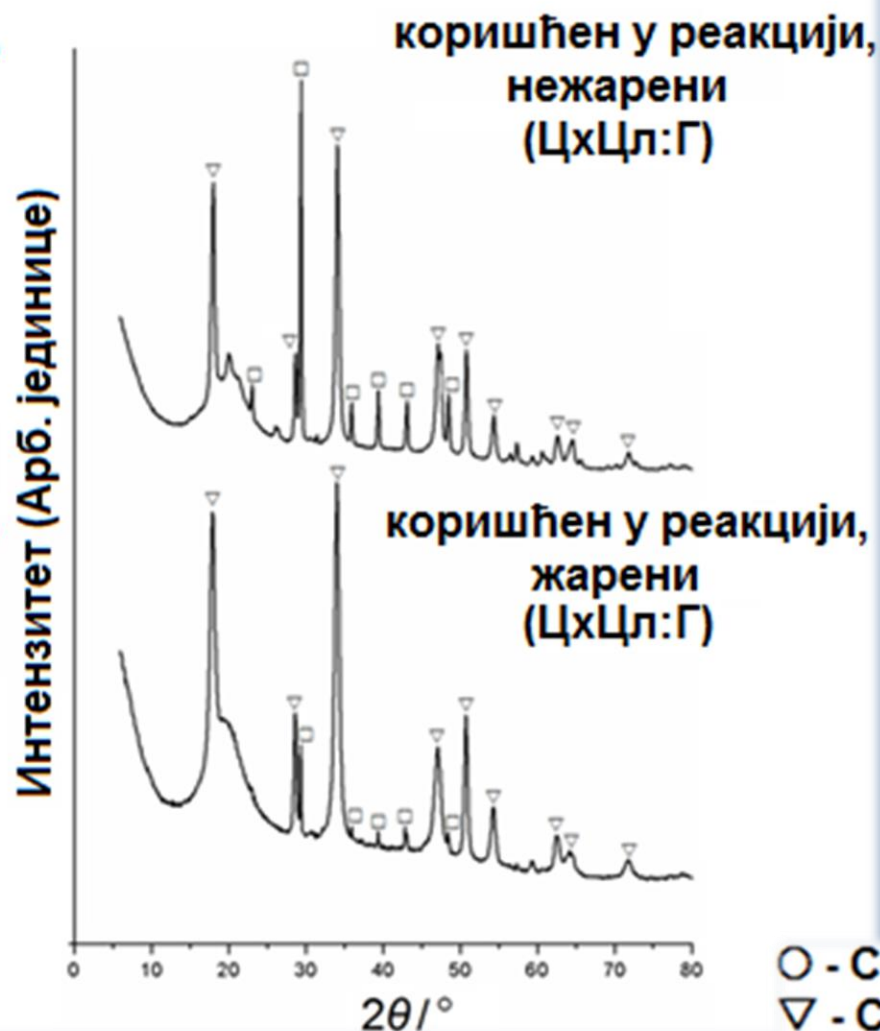
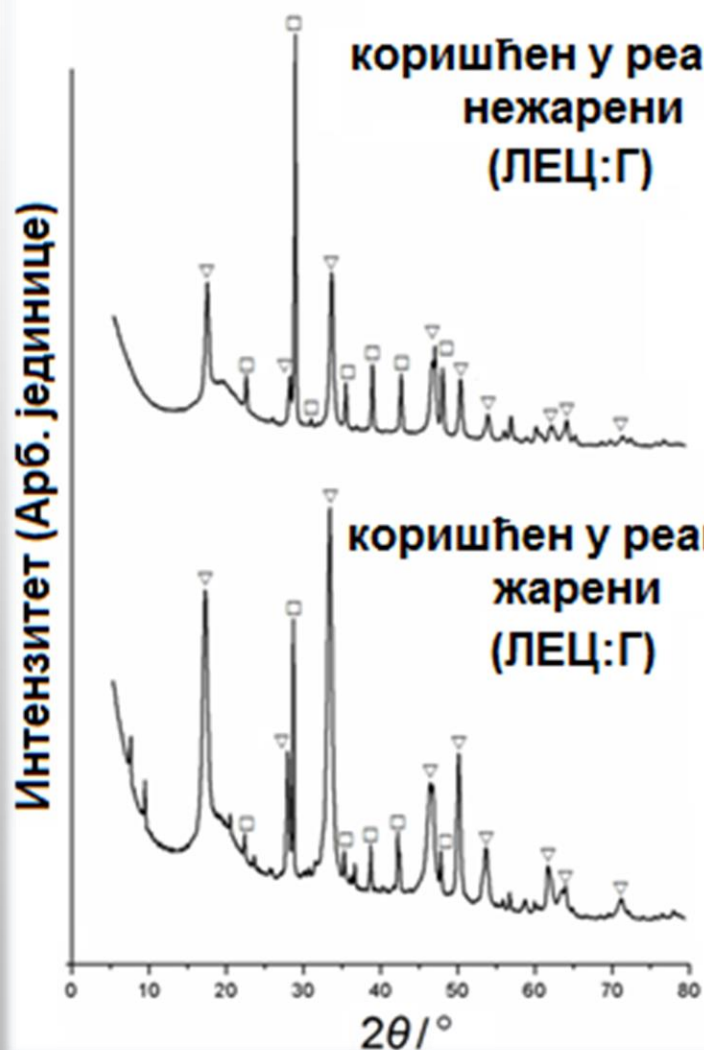


- - CaO
- ▽ - Ca(OH)₂
- - CaCO₃
- ◇ - CaDG
(калцијум-диглицероксид)

РЕНДГЕНСКА ДИФРАКЦИОНА АНАЛИЗА CaO НАКОН ЕТАНОЛИЗЕ

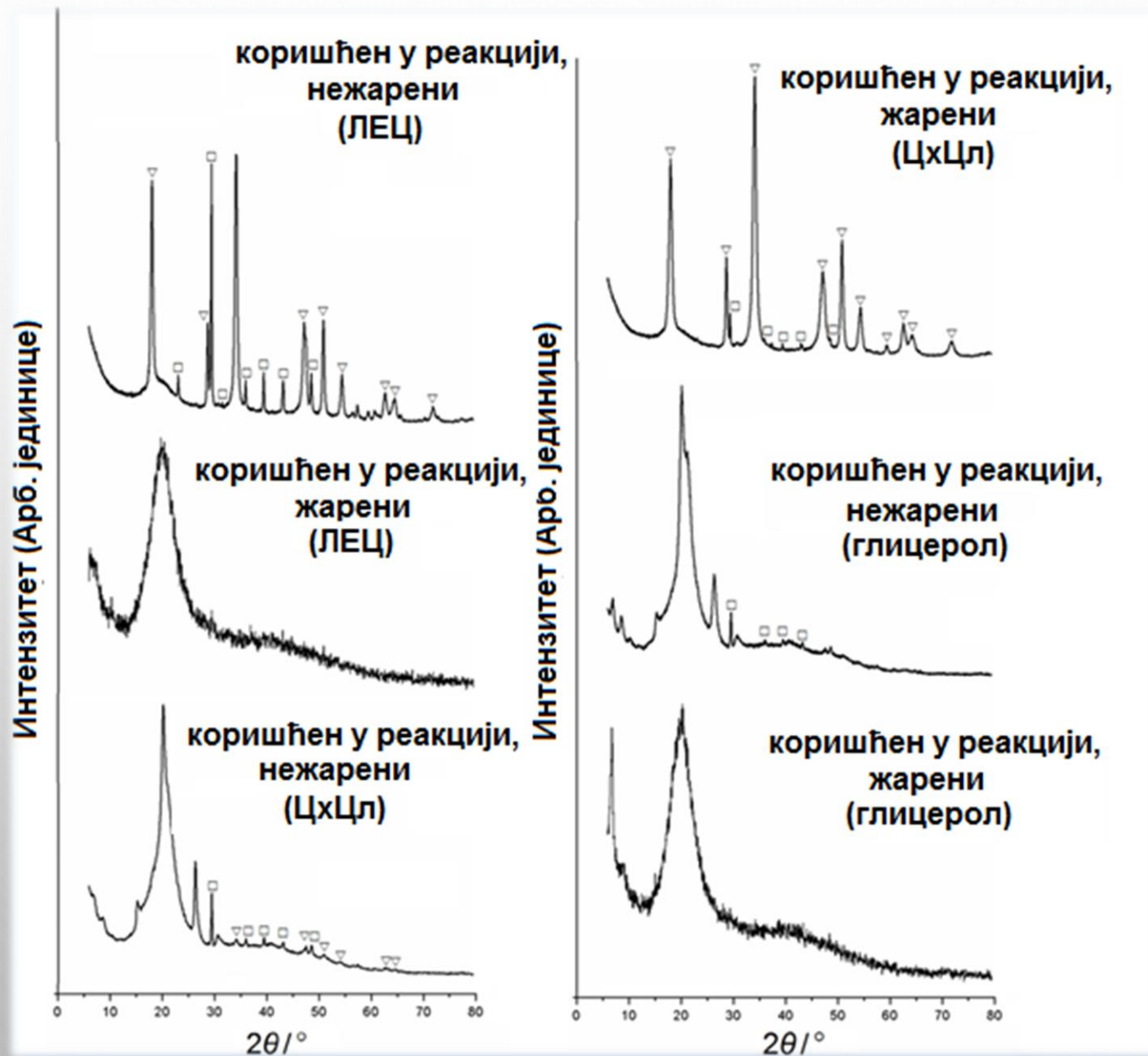


РЕНДГЕНСКА ДИФРАКЦИОНА АНАЛИЗА СаО НАКОН ЕТАНОЛИЗЕ



○ - CaO
▽ - Ca(OH)₂
□ - CaCO₃

РЕНДГЕНСКА ДИФРАКЦИОНА АНАЛИЗА CaO НАКОН ЕТАНОЛИЗЕ



▽ - Ca(OH)_2
□ - CaCO_3

ПРЕГЛЕД ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА ПО ВРСТИ

Назив резултата	Категорија	Број
Монографска студија/поглавље у књизи M11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја	M13	1
Рад у врхунском међународном часопису	M21	1
Рад у међународном часопису	M23	2
Саопштење са међународног скупа штампано у изводу	M34	4
Истакнута монографија националног значаја	M41	1
Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу	M64	1

НАЈВАЖНИЈИ РЕЗУЛТАТИ

1. Stanišić D., Tasić M., Stamenković O., Tasić Lj., Prospects and perspectives for producing biodiesel, bioethanol and bio-chemicals from fruit waste: case studies in Brazil and Serbia, in: Production of Biofuels and Chemicals from Sustainable Recycling of Organic Solid Waste, Biofuels and Biorefineries Vol. 11. Fang Z., Smith R.L.Jr., Xu L., eds. Springer Singapore (2022), pp. 415-452, eBook ISBN 978-981-16-6162-4, Hardcover ISBN 978-981-16-6161-7, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-6162-4_13, **M13**
2. Miladinović, M.R., Krstić, J.B., Zdujić, M.V., Veselinović, L.M., Veljović, D.N., Banković-Ilić, I.B., Stamenković, O.S., Veljković, V.B., Transesterification of used cooking sunflower oil catalyzed by hazelnut shell ash. Renewable Energy 183 (2022) 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.071>, **M21**
3. Miladinović, M.R., Petković, M.Z. Banković-Ilić, I.B., Konstantinović, S.S., Veljković, V.B., Sunflower oil methanolysis over modified CaO catalysts. Hemijska Industrija 76 (2) (2022) 75–85. <https://doi.org/10.2298/HEMIND211125009M>, **M23**
4. Todorović Z.B., Đorđević B.S., Troter D.Z., Veselinović Lj.M., . Zdujić M.Z., Veljković V.B., Effects of temperature on physicochemical properties of the lecithin-based deep eutectic solvents and their use in the CaO-catalyzed transesterification. Hemijska Industrija 76 (2022) <https://doi.org/10.2298/HEMIND220527016T>, **M23**
5. Вељковић В.Б., Биберџић, М.О., Банковић–Илић И.Б., Стаменковић О.С., Уље кукуруза као сировина за производњу биодизела, Технолошки факултет у Лесковцу Универзитета у Нишу и Огранак САНУ у Нишу, Лесковац (2022), монографија, ISBN: 978-86-89429-50-3, монографија, **M41**

САОПШТЕЊА НА СКУПОВИМА

1. Kostić M., Nježić Z., Krstić J., Šimurina O., Stamenković O., Veljković V., The kinetics of the biodiesel production from rapeseed oil over calcined waste filter cake from sugar production, 2nd International Conference on Advanced Production and Processing ICAPP 2022, Book of Abstracts [Elektronski izvor], ISBN 978-86-6253-160-5, p. 225, Novi Sad, Serbia, 20-22. October 2022, **M34**
2. Đorđević B., Kostić M., Todorović Z., Stamenković O., Veselinović Lj. Veljković V., A triethanolamine:choline chloride deep eutectic solvent as a co-solvent in the ethanolysis of *Brassica nigra* L. seed oil, 2nd International Conference on Advanced Production and Processing ICAPP 2022, Book of Abstracts, ISBN 978-86-6253-160-5, p. 206, Novi Sad, Serbia, 20-22. October 2022, **M34**
3. Petković M., Miladinović M., Banković-Ilić I., Stamenković O., Veljković V., Heterogeneously catalyzed transesterification of oil blends, XIV Conference of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska, Book of Abstracts [Elektronski izvor], ISBN 78-99938-54-96-8, p. 51, Banja Luka, Republic of Srpska, 21-22. October 2022, **M34**
4. Đorđević B., Kostić M., Stamenković O., Todorović Z., Veselinović Lj. Veljković V., A triethanolamine-based deep eutectic solvent in the calcium oxide catalyzed ethanolysis of *Brassica nigra* L. seed oil, XIV Conference of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska, Book of Abstracts, ISBN 78-99938-54-96-8, p. 165, Banja Luka, Republic of Srpska, 21-22. October 20 **M34**
5. Đorđević, B., Troter, D., Todorović, Z., Veljković, V. Lecithine-based deep eutectic solvent in CaO-catalyzed ethanolysis of black mustard (*Brassica nigra* L.) seed oil, 14th Symposium on the Flora of Southeastern Serbia and Neighboring Regions, Book of Abstracts, ISBN 978-86-6275-140-9 (FSM), p. 81, Kladovo, Serbia, 26-29 June 2022 **M64**