

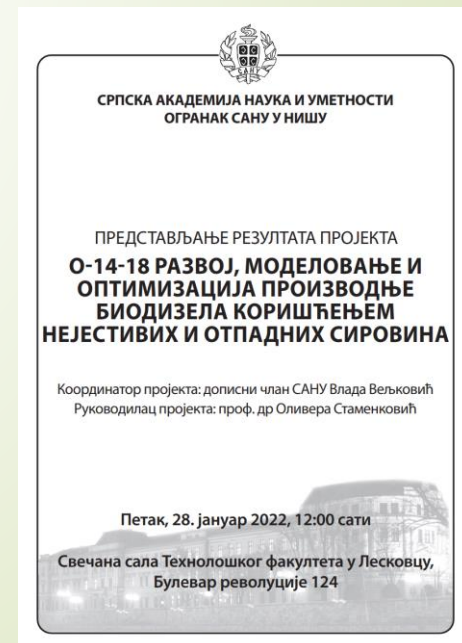


# Српска академија наука и уметности Огранак САНУ у Нишу

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

– ПРОЈЕКАТ 0-14-18 –

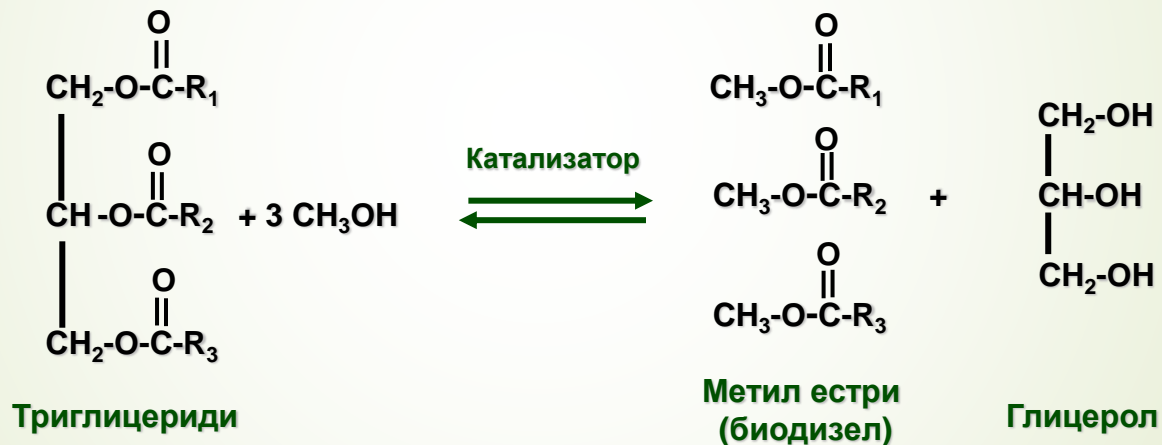
Ниш, 28. јануар 2022.



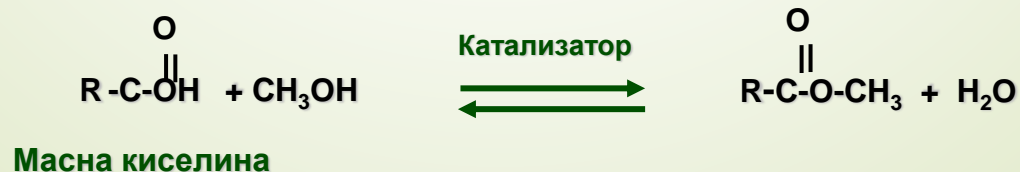
# Биодизел (Б100)?

СМЕША АЛКИЛ ЕСТАРА ВИШИХ МАСНИХ КИСЕЛИНА КОЈА ИСПУЊАВА ЗАХТЕВЕ СТАНДАРДА КВАЛИТЕТА ЗА БИОДИЗЕЛ (EN 14214 ИЛИ ASTM D6751)

## Трансестерификација

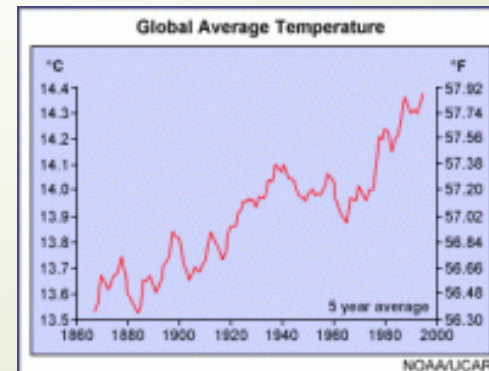
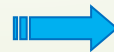


## Естерификација




# Зашто биодизел?

- ОГРАНИЧЕНЕ РЕЗЕРВЕ НАФТЕ
- ЗАВИСНОСТ ЦЕНЕ НАФТЕ ОД ПОЛИТИЧКЕ СИТУАЦИЈЕ
- ЧУВАЊЕ ДЕВИЗА
- ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ
  - Значајно смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште
  - Биодеградабилан
  - Мање токсичан





# НЕДОСТАЦИ БИОДИЗЕЛА

- **ХРАНА vs ГОРИВО**
  - **ОГРАНИЧЕНЕ КОЛИЧИНЕ „ПОГОДНИХ“ СИРОВИНА**
  - **МОДИФИКАЦИЈА МОТОРА ЗА ПОГОН НА Б100**
  - **ЕМИСИЈА ОКСИДА АЗОТА**
- 

# ЕКОНОМСКИ АСПЕКТИ

## УКУПНА СВЕТСКА НАФТНА:



### Потрошња

2010: 4087,7 милиона тона

2020: 4188,2 милиона тона

Средњи годишњи раст: 1,5 %



### Производња

2020: 4165,1 милиона тона

Светске резерве нафте у 2020: 275,4 милијарди тона

Однос резерве/производње: **53,3** год.



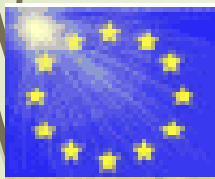
# ПРОИЗВОДЊА БИОДИЗЕЛА У ЕВРОПИ (2017)

Производња у '000,000 t

Немачка – **4,00**  
Шпанија – 3,40  
Холандија – 2,55  
Француска – 2,08  
Италија – 1,52

Производња у '000 t

Бугарска – 356  
Румунија – 295  
Мађарска – 188  
Словенија – 100  
Хрватска – 55  
**Србија - ???**




# ПРОИЗВОДЊА БИОДИЗЕЛА У СРБИЈИ



## Инсталисани капацитет (t/год)

Компанија	Сировина	Поступак	Технологија	Капацитет
Victoria Oil, Шид	Уље репице	Алкалан, хомогено катализован	Lurgi, Немачка	100,000
ФАМ, Крушевац	?	?	Lubocons Chemicals, Словачка	25,000
Bioenergy Oil, Сомбор	Коришћено уље	Алкалан, хомогено катализован	Euro Fuel Tech, Енглеска	1,400
Технолошки факултет, Лесковац	Уље репице, сунцокретово уље, отпадна свињска маст	Алкалан, хомогено катализован	Сопствени патент	480





# МОГУЋНОСТИ УНАПРЕЂЕЊА ПРОИЗВОДЊЕ БИОДИЗЕЛА

- ПОВОЉНИЈЕ (ЈЕФТИНИЈЕ!) СИРОВИНЕ
- НОВИ И ПОБОЉШАНИ ПОСТОЈЕЋИ КАТАЛИЗАТОРИ
- УНАПРЕЂЕЊЕ ПОСТОЈЕЋИХ И РАЗВОЈ НОВИХ ПРОЦЕСА ПРОИЗВОДЊЕ

***“РАЗВОЈ, МОДЕЛОВАЊЕ И  
ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОИЗВОДЊЕ  
БИОДИЗЕЛА КОРИШЋЕЊЕМ  
НЕЈЕСТИВИХ И ОТПАДНИХ  
СИРОВИНА”***





# ЦИЉ ПРОЈЕКТА

- ▶ **развој материјала и технологија на бази био-обновљивих, природних и отпадних сировина ради њиховог коришћења у синтези биодизела са смањеним трошковима производње**
- ▶ **унапређење постојећих и развој нових технологија**
- ▶ **валоризација отпадних материјала задовољава принципе очувања животне средине и одрживог развоја**

# 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 јефтених природних материјала који се могу користити у процесима синтезе биодизела и њихова карактеризација

## ► СИНТЕЗА ЕСТАРА ВИШИХ МАСНИХ КИСЕЛИНА (БИОДИЗЕЛА):

- развој процеса за синтезу биодизела из нејестивих, отпадних и коришћених уља и животињске масти, уз коришћење чврстих катализатора из јефтених 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 Драган Тротер, научни сарадник

др Милан Костић, асистент

Биљана Ђорђевић, докторанд

**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

# ПРЕЗЕНТАЦИЈА УКЉУЧУЈЕ:

- **ПРОФ. ДР ИВАНА БАНКОВИЋ ИЛИЋ:** Примена отпадних биљних уља и масти као сировина за добијање биодизела
- **ДР МИЛАН КОСТИЋ:** Уље семена дивљег лана (*Camelina sativa*) и пољског мошњака (*Thlaspi alliaceum* L.) у производњи биодизела. Утицај масно-киселинског састава уља на кинетику реакције метанолизе
- **БИЉАНА ЋОРЋЕВИЋ, докторанд:** *In situ* поступак добијања биодизела из семена црне слачице (*Brassica nigra* L.)
- **ДР МАРИЈА МИЛАДИНОВИЋ:** Поређење каталитичке активности пепела од љуски орашастих плодова са конвенционалним катализаторима за производњу биодизела
- **ДР ДРАГАН ТРОТЕР:** представљање монографије „Примена јонских течности и еутектичких растварача у производњи биодизела“

ПРОФ. ДР ИВАНА БАНКОВИЋ ИЛИЋ:

## Примена отпадних биљних уља и масти као сировина за добијање биодизела

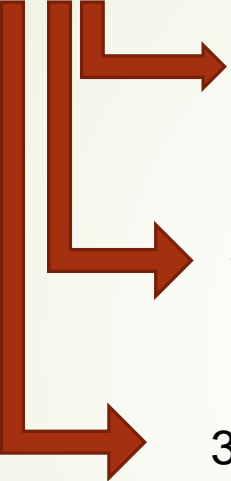
Назив поглавља у књизи међународног значаја: **WASTE VEGETABLE OILS, FATS AND COOKING OILS IN BIODIESEL PRODUCTION**

Аутори: **Vlada B. Veljković, Ivana B. Banković-Ilić, Olivera S. Stamenković, Yung-Tse Hung**



<b>Chapter 5</b>	
<b>Waste Vegetable Oils, Fats, and Cooking Oils in Biodiesel Production</b>	
Vlada B. Veljković, Ivana B. Banković-Ilić, Olivera S. Stamenković, and Yung-Tse Hung	
<b>Contents</b>	
1	Introduction..... 148
2	Biodiesel Production from Conventional Oily Feedstocks..... 149
2.1	Homogeneously Catalyzed Reactions..... 150
2.2	Heterogeneously Catalyzed Reactions..... 153
2.3	Enzyme-Catalyzed Reactions..... 153
2.4	Non-catalyzed Reactions..... 154
3	Biodiesel Production from By-products of Edible Oil Refinery Process..... 154
3.1	Biodiesel from Soapstocks, Oil Sediments, and Acid Oils..... 155
3.2	Biodiesel from SBE..... 168
3.3	Biodiesel from DD..... 175
4	Biodiesel Production from WAFs..... 186
4.1	One-Step Processes..... 188
4.2	Two-Step Processes..... 201
5	Biodiesel Production from WCOs..... 206
5.1	One-Step Processes..... 207
5.2	Two-Step Processes..... 228
6	Fuel Properties of Biodiesel Produced from Waste Oily Feedstocks..... 233
7	Economics of Biodiesel Production from Waste Oily Feedstocks..... 247
8	Conclusion..... 248
	Glossary..... 249
	References..... 250

## I НУС ПРОИЗВОДИ ИЗ ПРОЦЕСА РАФИНАЦИЈЕ ЈЕСТИВИХ УЉА

- 
1. сапунске смеше и кисела уља
  2. отпадна земља за бељење  
(зауљана погача)
  3. деодорисани дестилат

Јефтина уљна сировина за производњу биодизела!



# 1. САПУНСКЕ СМЕШЕ И КИСЕЛА УЉА

## САПУНСКЕ СМЕШЕ (СС)

Састав:

АГ - 12-13%

СМК - 10-28%

вода - 32-67%

фосфатиди 5-9%

Получврсте у амбијенталним условима

Процеси обраде у два корака:

- кисело катализована естерификација СМК
- базно катализована трансестерификација АГ

- закишељавањем СС

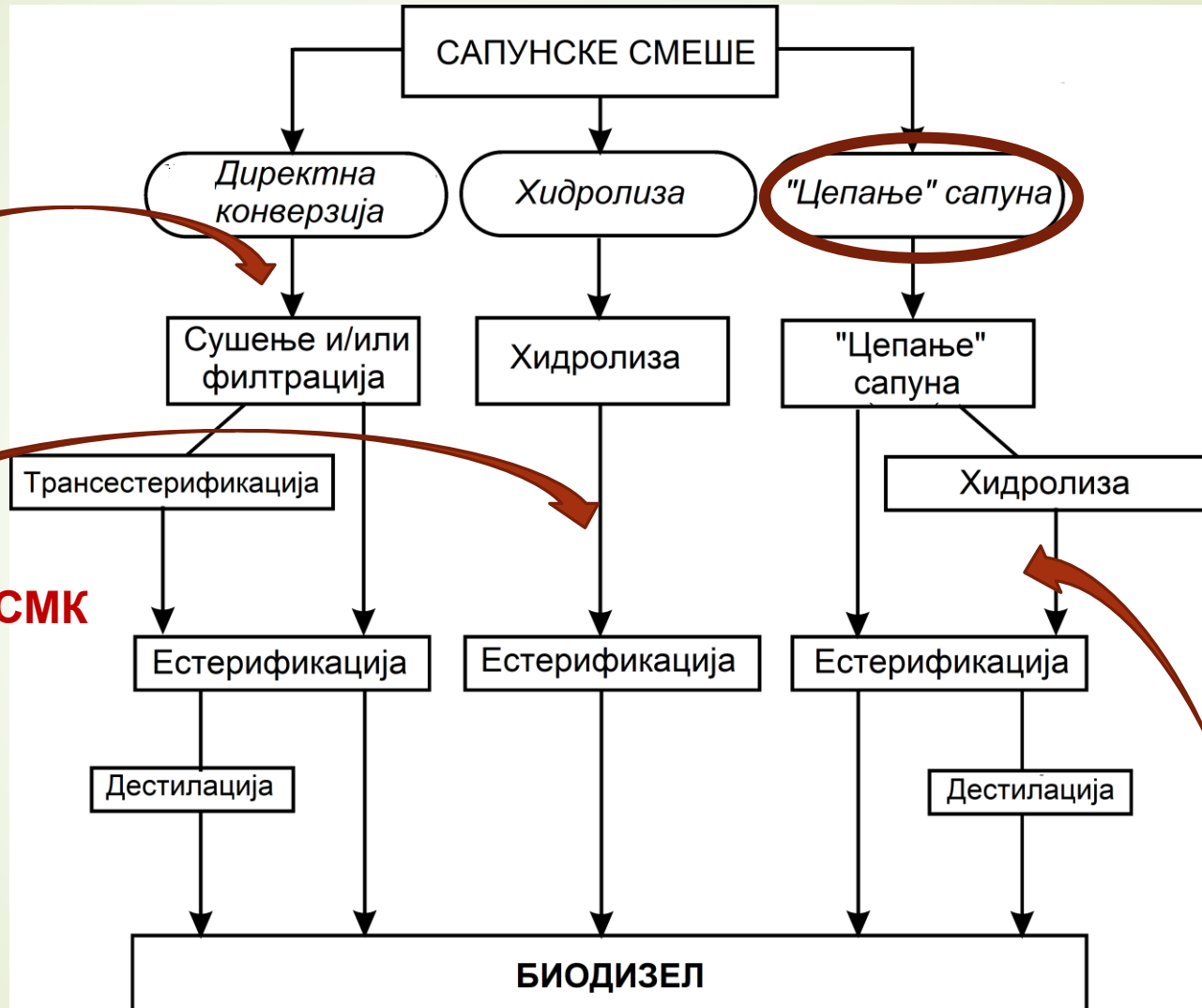
Састав: АГ: 18-30%, СМК: 39-79%, вода: 0,8-3,1%, неосапунјиве материје: 0,4-4,2%.

Лакше добијање биодизела због мањег садржаја воде у односу на СС.

## КИСЕЛА УЉА



# Конверзија сапунских смеша у биодизел



**Директна конверзија**

**Хидролиза + естерификација СМК**

**Естерификација СМК + трансестерификација**

## 2. ОТПАДНА ЗЕМЉА ЗА БЕЉЕЊЕ (ОЗБ)

200.000 тона ОЗБ у свету годишње (2015. год.)

Одлагање на депонијама: скупо и еколошки неприхватљиво

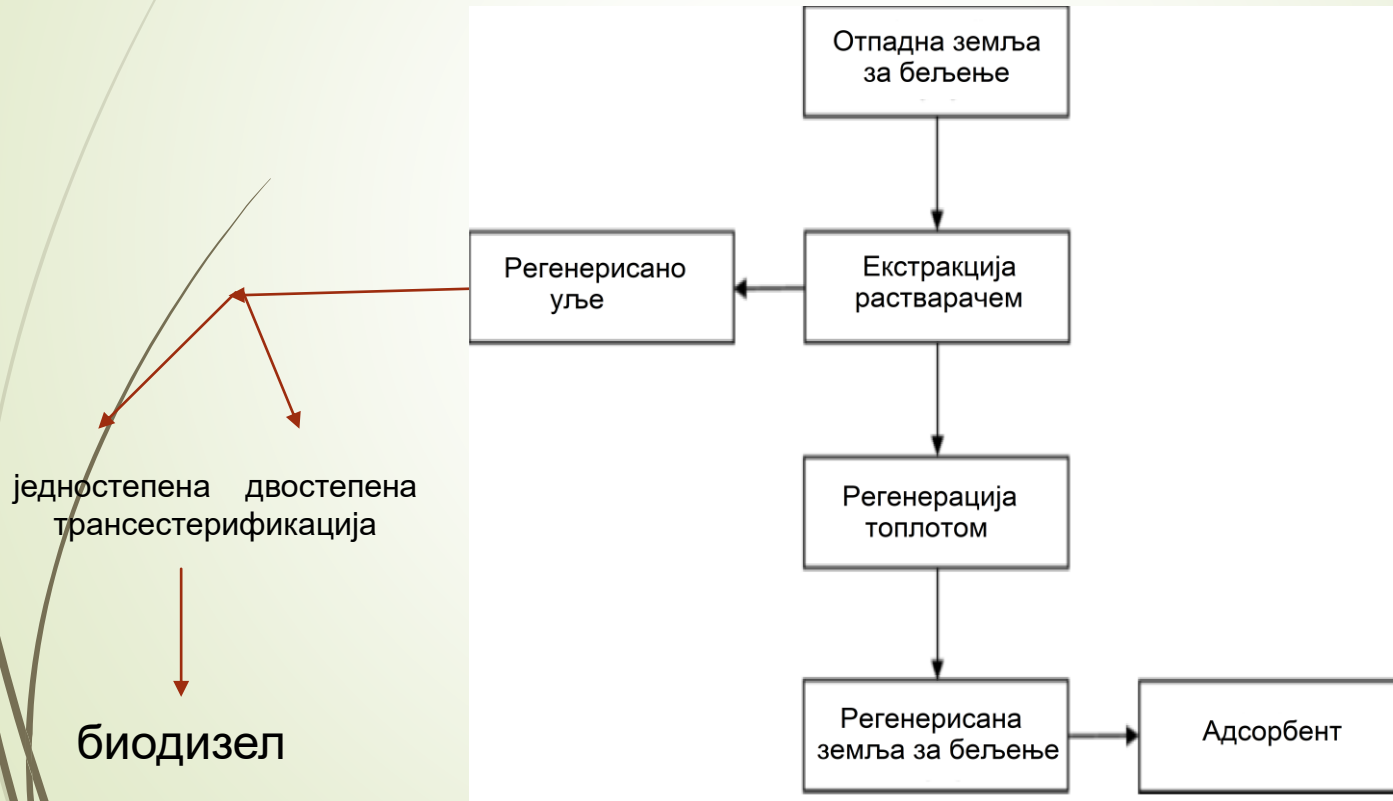
- Примена:**
1. адсорбенс у рафинацији јестивог уља (после сепарације адсорбованог уља),
  2. у грађевинској индустрији,
  3. добијање мазива и
  4. **добијање биодизела.**

- Начини регенерације ОЗБ:**
- 1) Екстракција са трансестерификацијом (једно и двостепени процеси)
  - 2) *In situ* екстракција и трансестерификација

# Екстракција са трансестерификацијом отпадног биљног уља

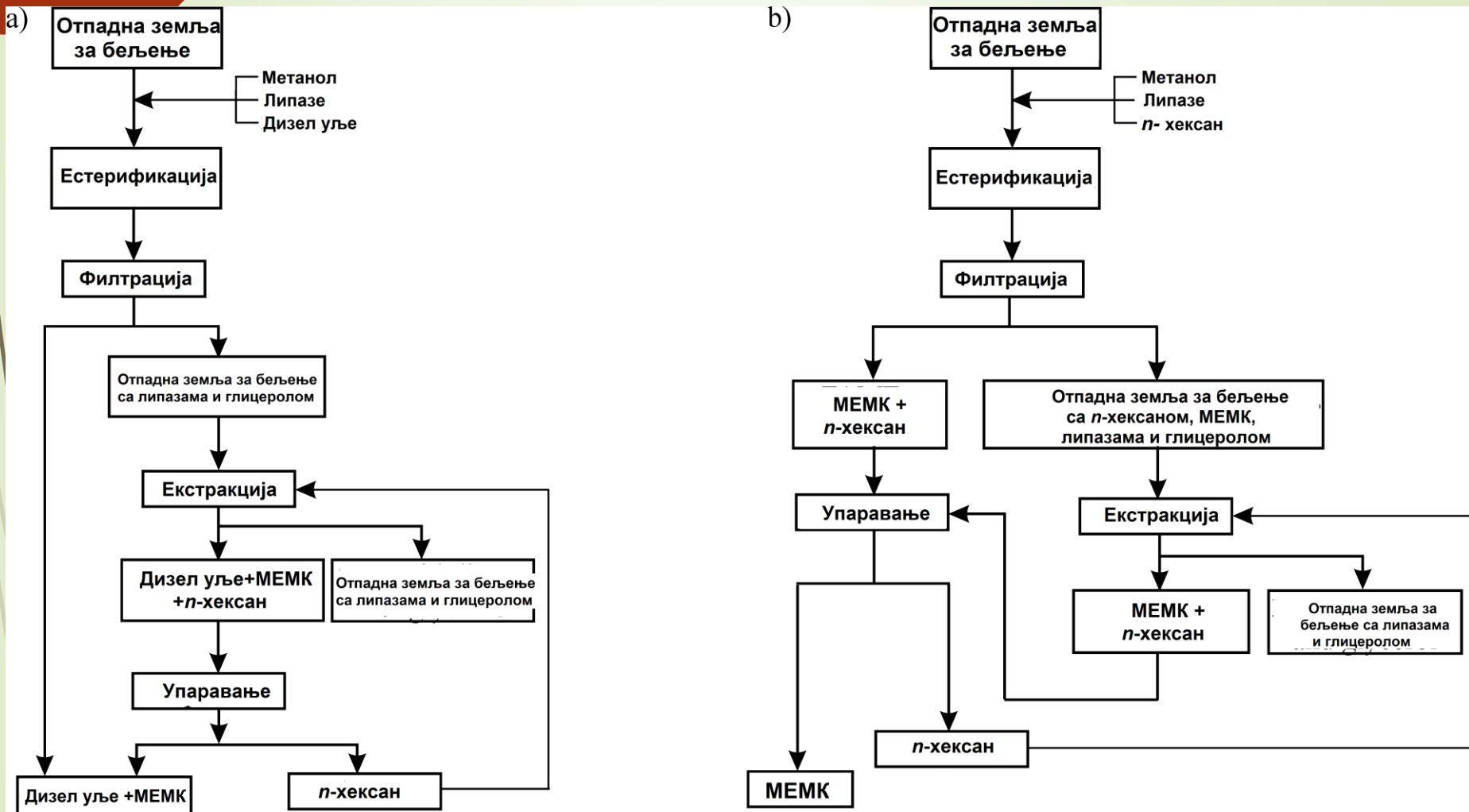
Екстракција:

- класична мацерација или Сокслетова екстракција (растварачи: *n*-хексан, метанол, етанол, петрол-етар)
- примена наткритичног CO<sub>2</sub>.



Шема процеса регенерације ОЗБ уз претходну сепарацију адсорбованог уља

# Истовремена *in situ* екстракција и трансестерификација



Шема добијања биодизела из ОЗБ применом *in situ* поступка (катализатор: липаза, растварач: дизел уље (а) и *n*-хексан (б))

### 3. ДЕОДОРИСАНИ ДЕСТИЛАТ (ДД)

Количине: 0,5-1% у односу на сирово уље.

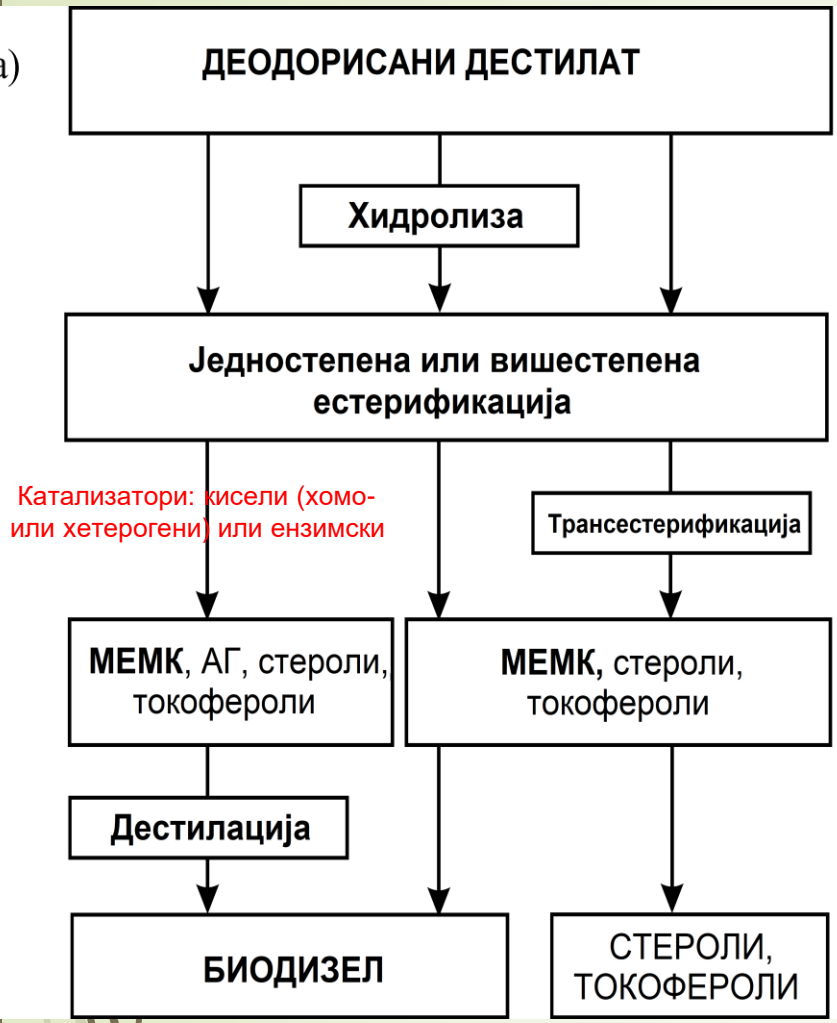
Састав:

- СМК: 33-81%
- АГ: 0,72-13,6%
- неосапуњиве материје (токофероли, стероли, сквалени): 6,6-41%.

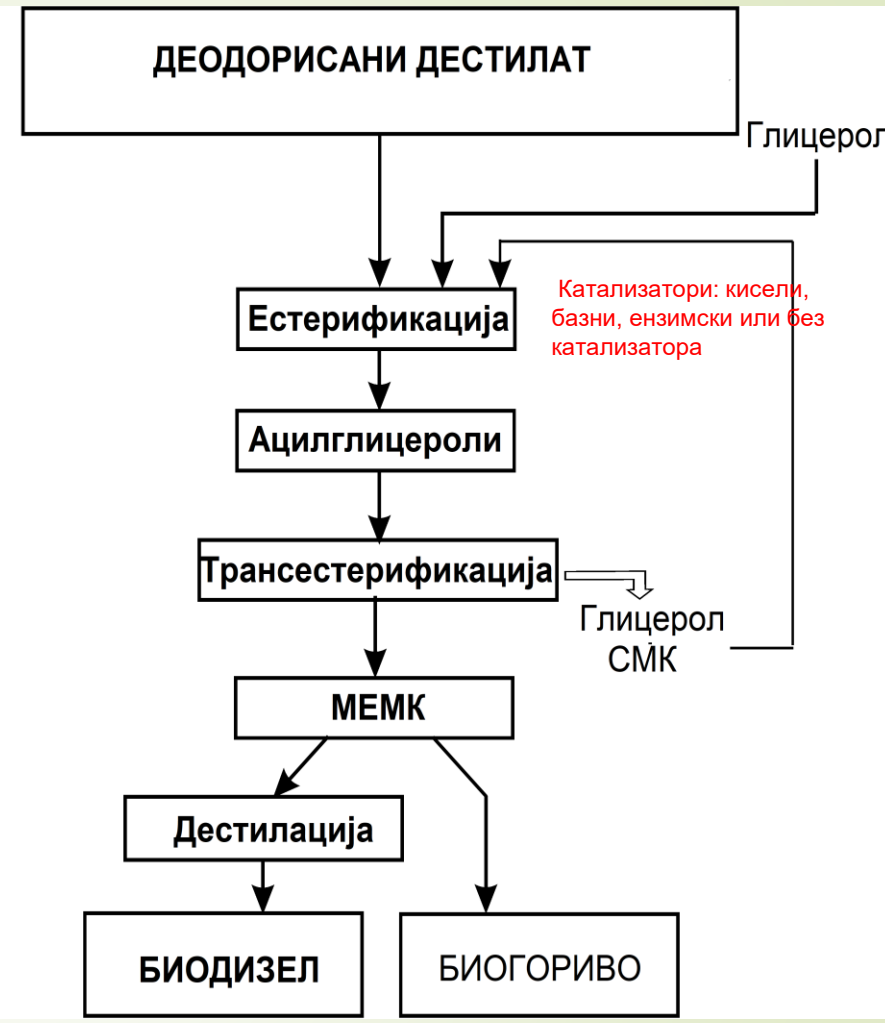
Процеси обраде:

- директна естерификација и
- глицеролиза (конверзија СМК у АГ) са трансестрификацијом.

a)



b)



Шематски приказ добијања биодизела из ДД:  
 директна естерификација (а) и глицеролиза са трансестерификацијом (б)

## II ОТПАДНЕ ЖИВОТИЊСКЕ МАСТИ (ОЖМ) И III ОТПАДНА КУХИЊСКА УЉА (ОКУ)

### Извори ОЖМ:

- свињска маст
- лој (говеђи и овчји)
- пилећа маст и
- рециклирана маст (жута и смеђа)

### Извори ОКУ:

- домаћинства
- ланци исхране (ресторани)

Количина у ЕУ земљама: око 1,0 мил. тона

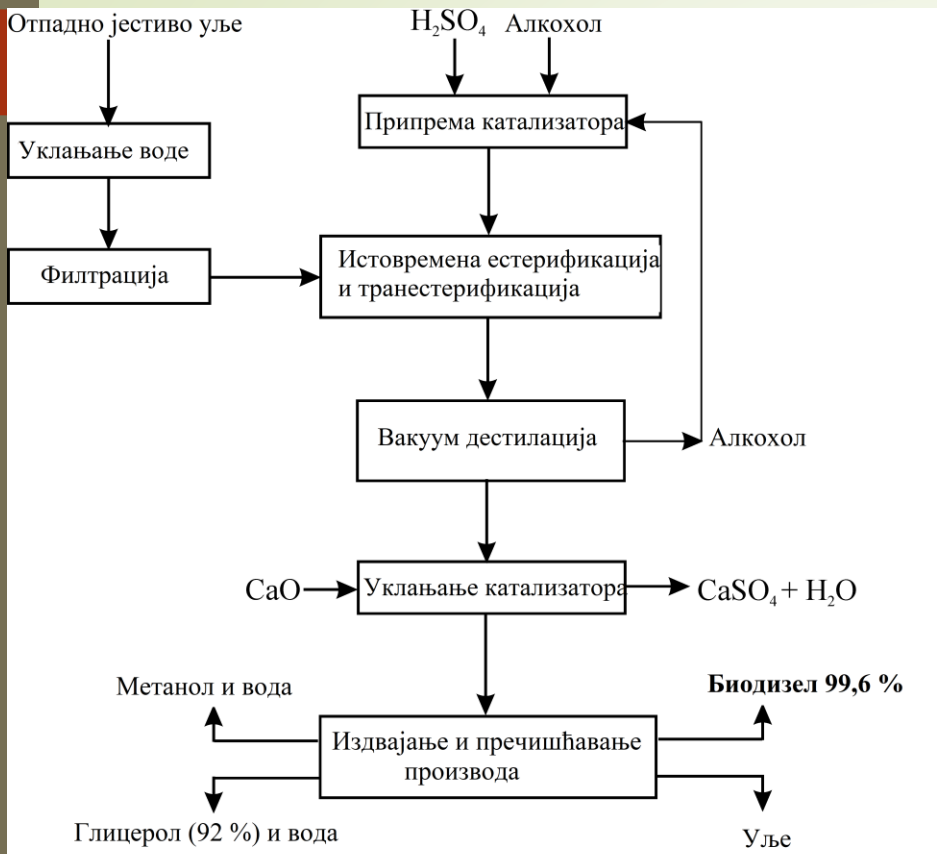
### Примена:

- производња сапуна
- производња сточне хране
- **производња биодизела**

### Процеси обраде:

- једностепени (катализатор: кисели, базни или ензим) и
- двостепени:
  - а) кисела естерификација СМК
  - б) базна (хомогена или хетереогена) трансестерификација АГ до естра





(а)







(б)

Шема добијања биодизела из отпадног кухињског уља применом хомогеног кисело- (а) и базно- (б) катализованог поступка

REVIEW

# Biodiesel production from camelina oil: Present status and future perspectives

Olivera S. Stamenković<sup>1</sup> | Kshipra Gautam<sup>2</sup> | Sneha L. Singla-Pareek<sup>3</sup> |  
Om P. Dhankher<sup>4</sup>  | Ivica G. Djalović<sup>5</sup>  | Milan D. Kostić<sup>1</sup> | Petar M. Mitrović<sup>5</sup> |  
Ashwani Pareek<sup>6,7</sup>  | Vlada B. Veljković<sup>1,8</sup> 



---

Царство

*Plantae*

Фамилија

*Brassicaceae*

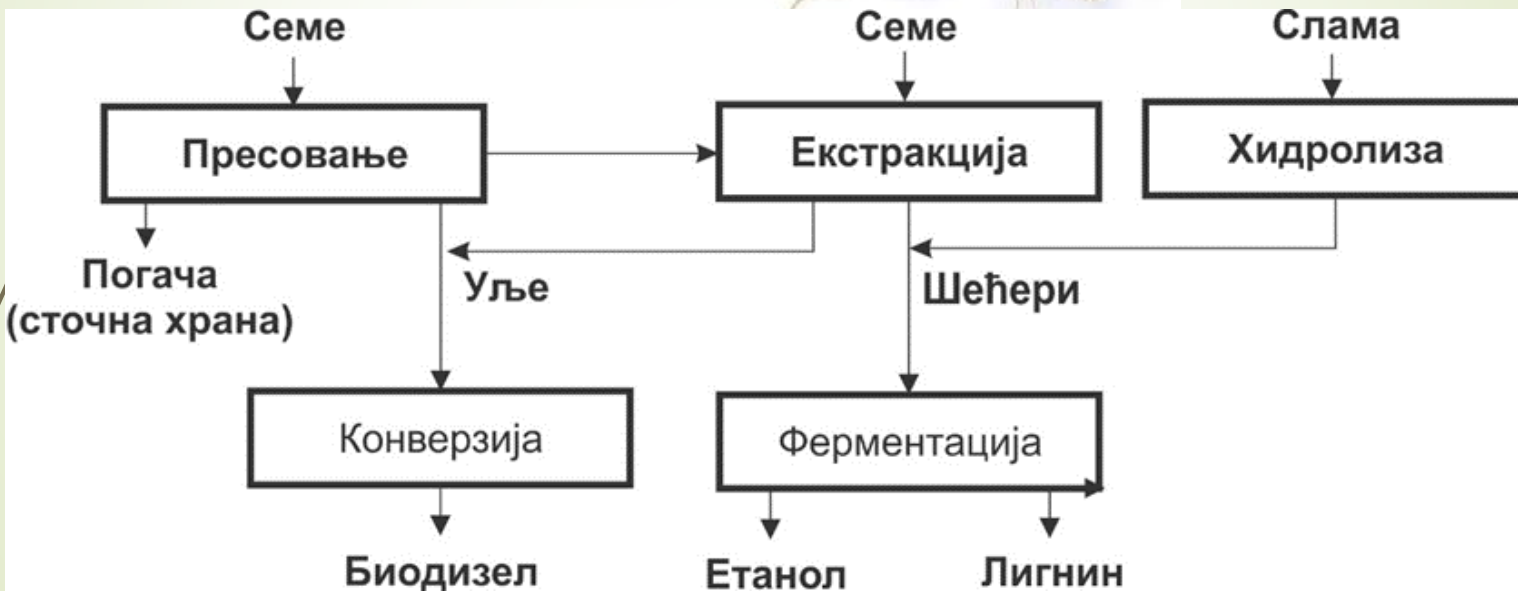
Род

*Camelina Crantz*

Врста

*Camelina sativa*

---



Технолошка шема идејног решења укупног процеса у оквиру биорафинерије засноване на коришћењу читаве биомасе ланика за производњу биодизела и биоетанола

## Кинетика метанолизе уља семена ланика

Катализатор	Ред реакције у односу на		Кинетички модел	Константа брзине реакције
	ТАГ	MeOH		
BaO	2	1	$\frac{1}{M-3} \left[ \frac{x_A}{1-x_A} - \frac{3}{M-3} \ln \left( \frac{M-3x_A}{1-x_A} \right) \right]$ $= kC_{A0}^2 t$	0,0526 g <sup>2</sup> /(mol <sup>2</sup> min)
SrO	2	1		0,0493 g <sup>2</sup> /(mol <sup>2</sup> min)
MgO	2	0	$\frac{x_A}{1-x_A} = kC_{A0} t$	0,0463 g/(mol min)
CaO	0	1	$-\frac{1}{3} \ln \left( \frac{M-3x_A}{M} \right) = kt$	0,0006 min <sup>-1</sup>

# THE INFLUENCE OF FATTY ACID COMPOSITION ON THE KINETICS OF THE VEGETABLE OIL METHANOLYSIS REACTION

Milan D. Kostić<sup>1,\*</sup>, Olivera S. Stamenković<sup>1</sup>, Vlada B. Veljković<sup>1,2</sup>

(ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER)

UDC 662.756.3:66.09

DOI 10.5937/savteh2102024K

<sup>1</sup>Faculty of Technology, University of Niš, Leskovac, Serbia

<sup>2</sup>The Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia

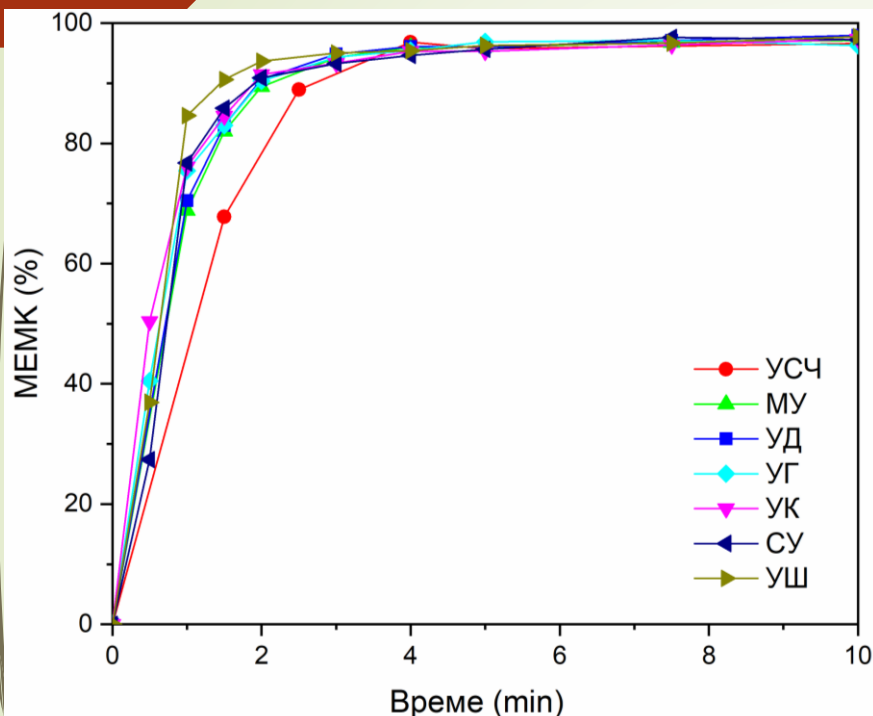
**УСЧ:** уље смрдљиве честике; **МО:** маслиново уље; **УД:** уље семена диње; **УГ:** уље семена грожђа; **УК:** уље семена конопље; **СУ:** сунцокретово уље; **УШ:** уље језгра шљиве

## Принос и маснокиселински састав биљних уља

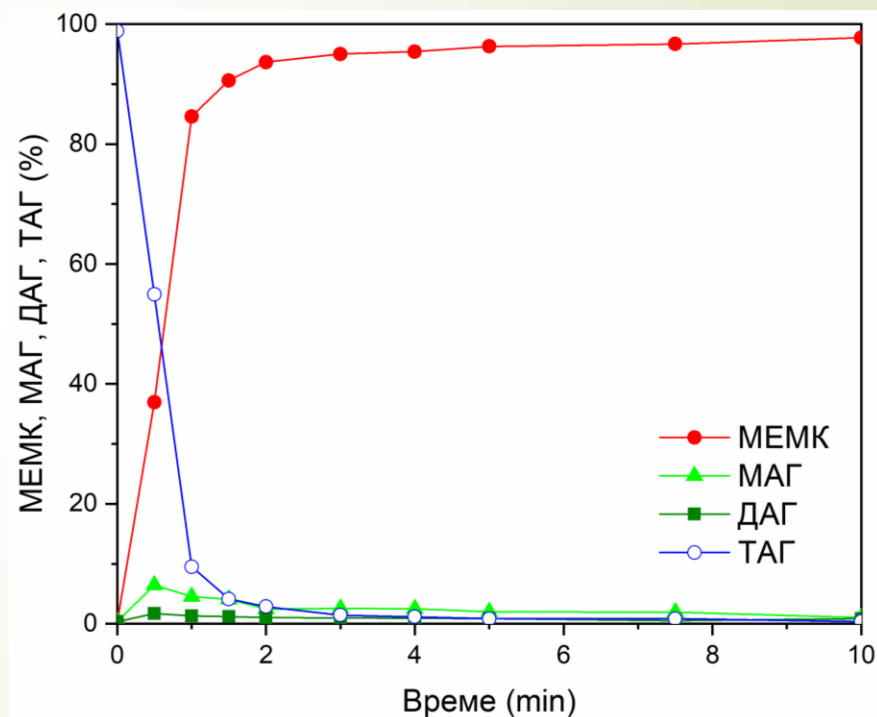
Уље	УСЧ	МО	УД	УГ	УК	СУ	УШ
Техника екстракције	Пресовање	Комерцијално	Soxhlet	Комерцијално	Пресовање	Комерцијално	Пресовање
Принос уља, g/100 g	18,16	-	26,05	-	26,89	-	33,84
Киселински број, mg КОН/g уља	1,37	0,64	0,68	0,44	0,78	0,35	1,98
Јодни број, gJ <sub>2</sub> /100 g	99,3	80,0	126,2	133,9	153,2	128,9	98,6
C16:0, %	5,82	12,44	9,23	6,72	6,25	6,85	5,59
C18:0, %	1,84	2,68	5,37	3,93	2,96	3,45	1,72
C18:1, %	36,05	74,77	23,70	22,82	13,99	29,31	70,85
C18:2, %	33,27	8,54	60,50	65,62	56,33	59,60	21,76
C18:3, %	4,10	0,24	0,10	0,18	15,63	0,12	
C20:0, %	1,37	0,90	0,16	0,20	0,93	0,04	
C20:1, %		0,42	0,96	0,21	3,47	0,15	
C22:0, %	17,35				0,47		
ЗМК, %	26,38	16,02	14,76	10,85	10,61	10,34	7,31
НМК, %	73,42	83,97	85,26	88,83	89,42	89,18	92,61



# Базно катализована метанолиза биљних уља

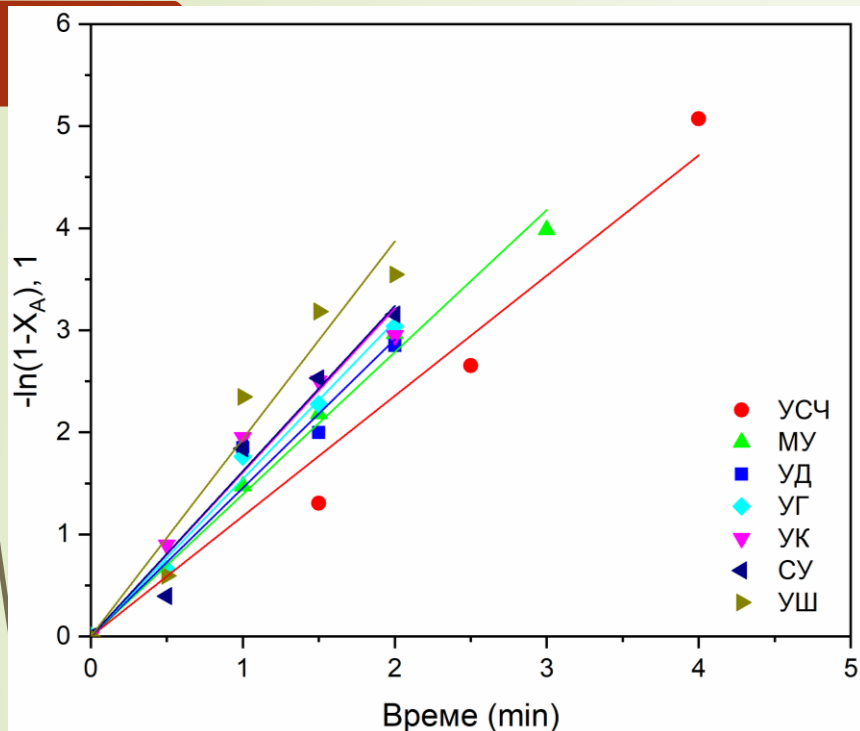


**Промена садржаја метил естера  
масних киселина (MEMK) са  
временом**



**Промена састава реакционе  
смеше са временом приликом  
метанолизе уља језгра шљиве**

# Модел неповратне реакције псеудо-првог реда



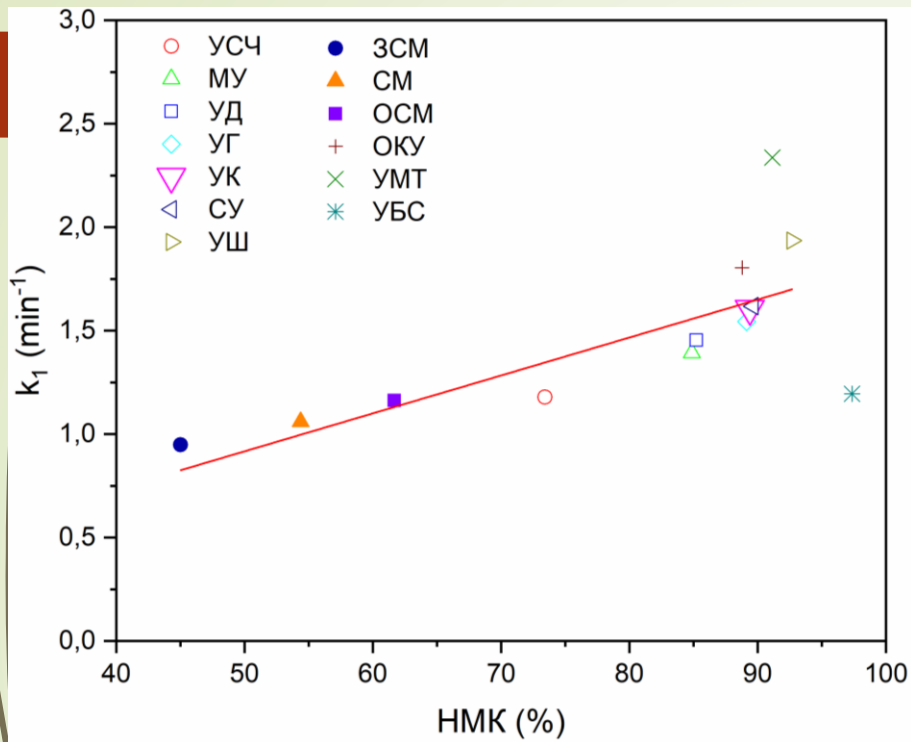
$$-\ln(1 - x_A) = k_1 \cdot t$$

$$-\ln(1 - x_A) = f(t)$$

## Константе брзине реакције метанолизе биљних уља

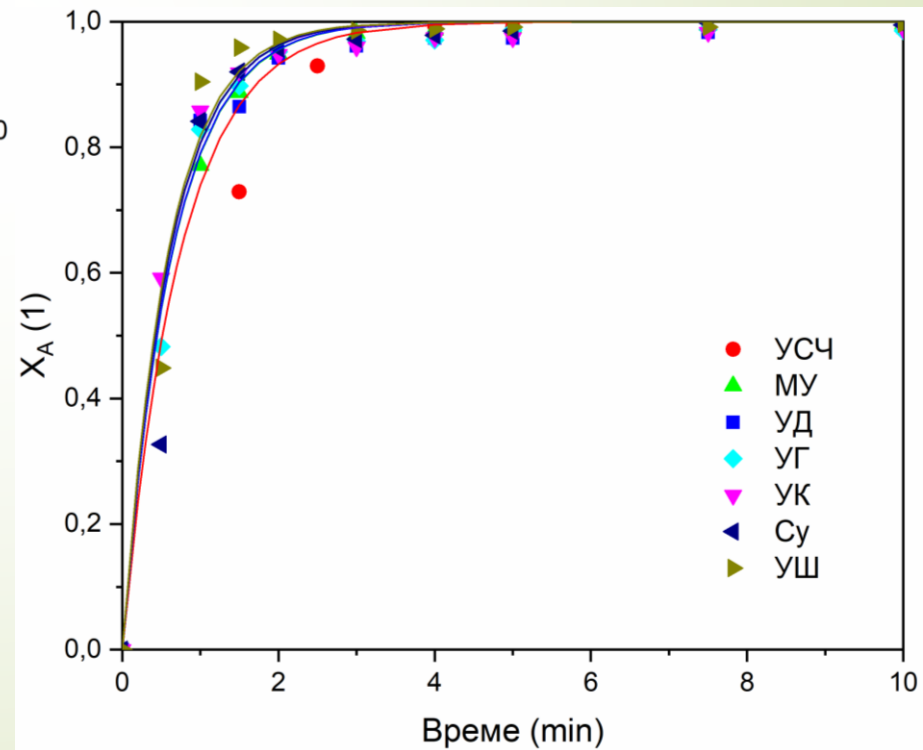
Сировина	ЗМК, %	НМК, %	$k_1, \text{min}^{-1}$	$R^2$	MRPD, %
УСЧ	25,01	73,42	<b>1,179</b>	0,988	$\pm 2,7$
МО	16,02	84,87	<b>1,393</b>	0,997	$\pm 0,8$
УД	14,78	85,21	<b>1,455</b>	0,988	$\pm 2,2$
УГ	10,86	89,14	<b>1,544</b>	0,996	$\pm 2,7$
УК	10,61	89,39	<b>1,607</b>	0,999	$\pm 2,2$
СУ	10,35	89,65	<b>1,619</b>	0,988	$\pm 7,0$
УШ	7,32	92,68	<b>1,935</b>	0,983	$\pm 3,8$





→  $k_1 = 0,01834 \cdot \text{HMK}(\%)$

MRPD:  $\pm 3,1\%$   
(79 податка)



## Oil Recovery from Roadside Pennycress (*Thlaspi Alliaceum* L.) Seeds and its Application for Biodiesel Production

*Izolovanje ulja iz semena smrdljive čestike (Thlaspi alliaceum L.) i njegova primena u sintezi biodizela*

Milan Kostić<sup>1,\*</sup>, Olivera Stamenković<sup>1</sup>, Vlada Veljković<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Technology, University of Niš, Bulevar Oslobođenja 124, Leskovac, Serbia

### ***Thlaspi alliaceum* L. (Смрдљива честика)**



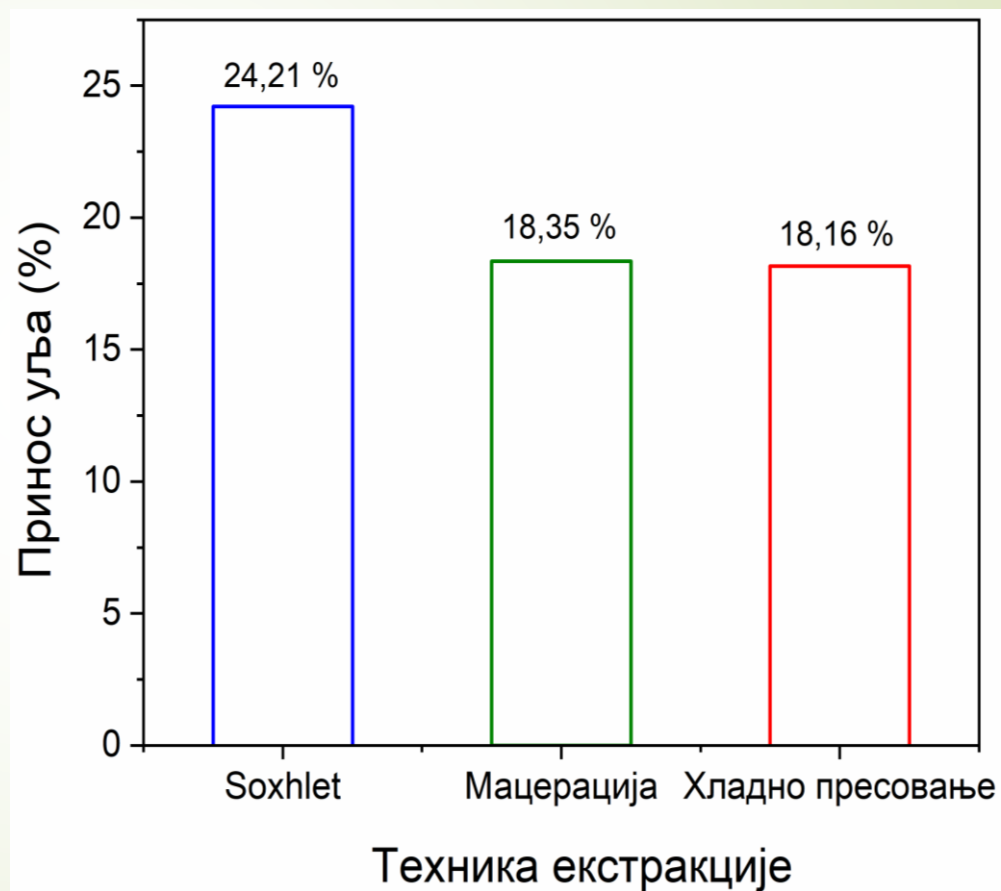
- ✓ Тolerantna prema хладноћи, разним врстама инсеката и штеточина
- ✓ Има способност фиторемедијације
- ✓ Висок садржај уља

# Екстракција уља из семена смрдљиве честике

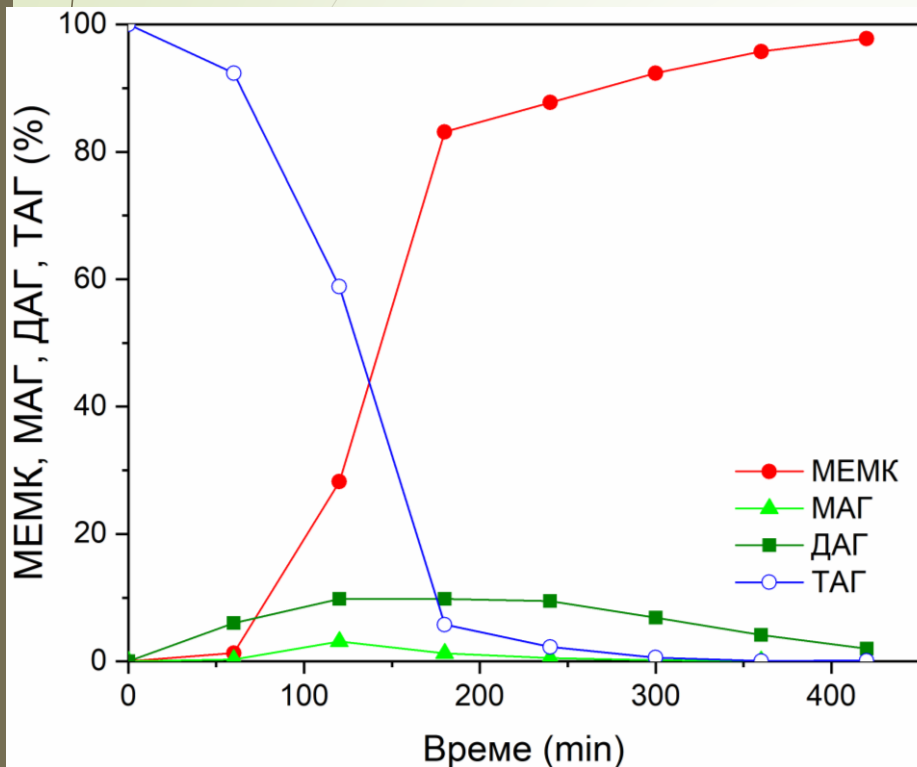
## 1. Екстракција растварачима:

- ✓ Soxhlet
- ✓ Мацерација

## 2. Пресовање



# Метанолиза уља семена смрдљиве честике (УСЧ)



Метанолиза УСЧ

## Особине MEMK УСЧ

Особина	MEMK	EN 14214
Густина, kg/m <sup>3</sup>	884	860-900
Вискозитет, mm <sup>2</sup> /s	4,01	3,5-5,0
Кис. број, mg KOH/g	0,47	0,50 max
Јодни број, g J <sub>2</sub> /100 g	99,11	120 max
Садржај воде, mg/kg	420	500 max
MEMK, %	97,8	96,5, min
Моноглицериди, %	0,1	0,8 % max
Диглицериди, %	0,2	0,2 % max
Триглицериди, %	0,1	0,2 % max

14<sup>th</sup> Symposium with international participation "Novel Technologies and Economic Development" was also supported by Ministry of Education, Science and Technological Development Republic of Serbia.

## BIODIESEL PRODUCTION FROM *BRASSICA NIGRA* L. SEEDS BY *IN-SITU* TRANSESTERIFICATION WITH ETHANOL

Biljana Đorđević<sup>1</sup>, Zoran Todorović<sup>1</sup>, Dragan Troter<sup>1</sup>, Vlada Veljković<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Technology, University of Niš, Leskovac, Serbia

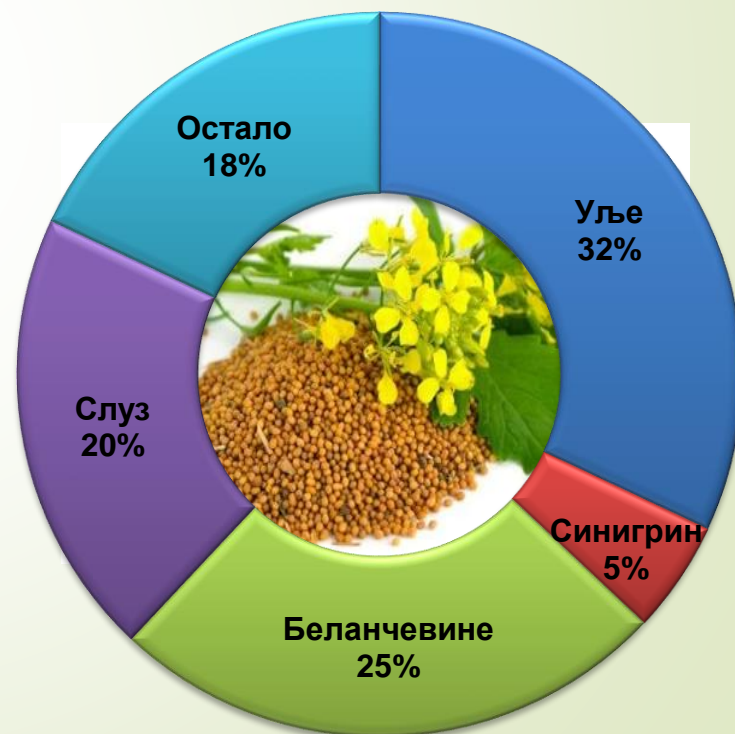
<sup>2</sup>Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia

### Црна слачица (*Brassica nigra* L.)

- Позната као мустард репа, горушица или сенф репа
- Једногодишња самоникла биљка
- Припада роду *Brassica* из породице Brassicaceae
- Потиче са Блиског Истока



### Семе црне слачице





# Уље црне слачице

- Обилује незасићеним масним киселинама (82-87%)
- Најзаступљенија је еручна киселина (C22:1, 37-41%)
- Може се примењивати као гориво у смеси са дизелом
- Алтернативна сировина у производњи биодизела



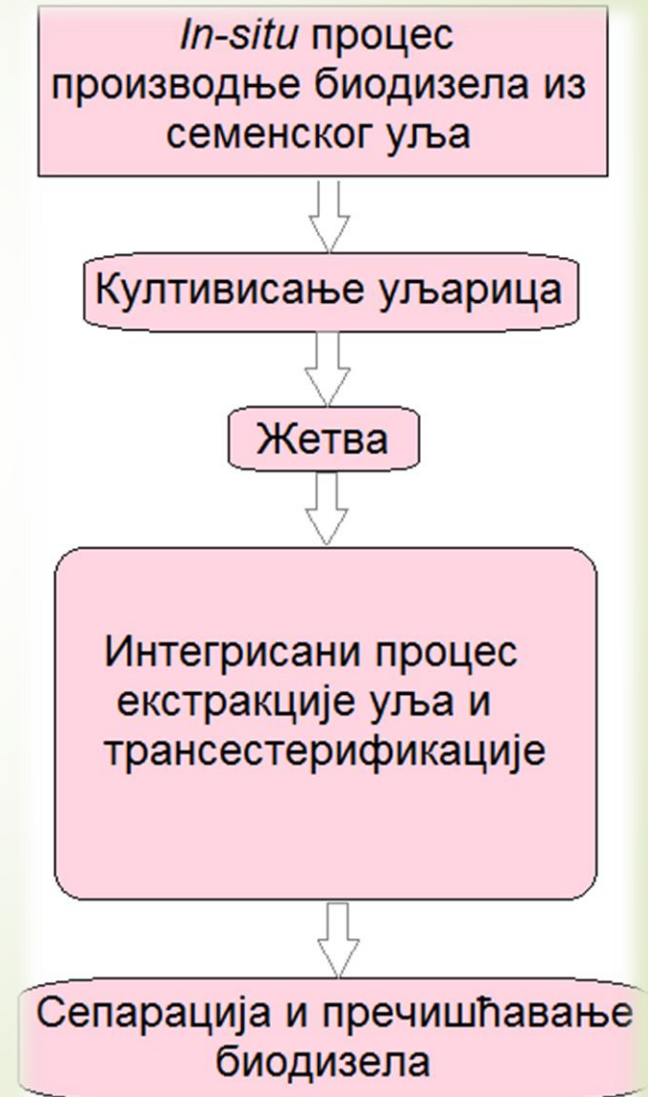
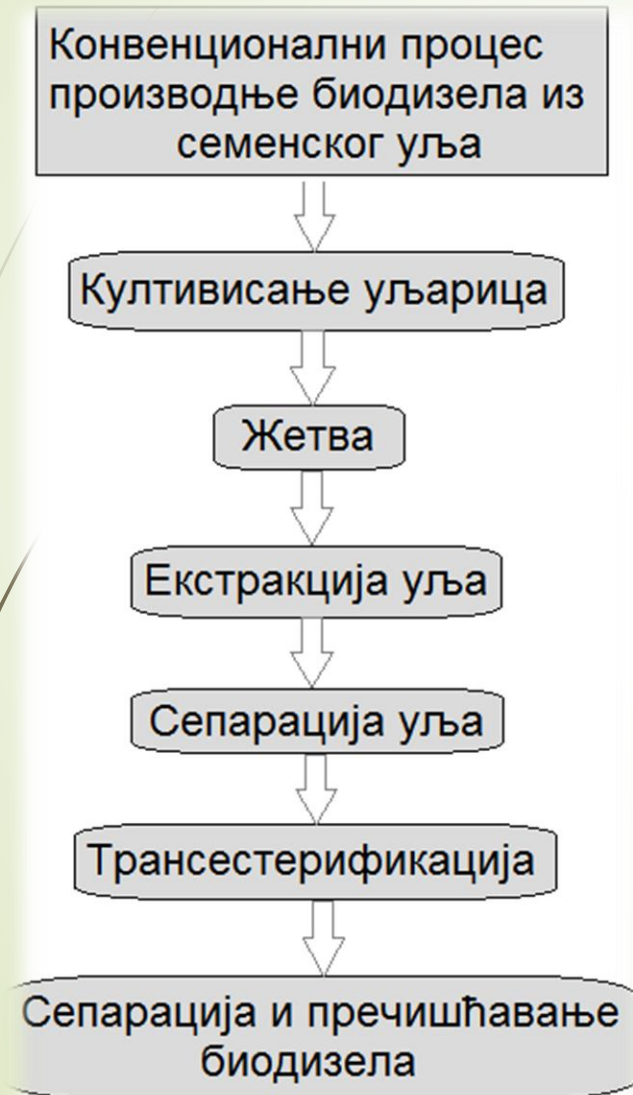
## Биодизел добијен од уља црне слачице

- Нижа тачка замућења (3,5 °C)
- Нижа тачка мржњења (-15 °C)
- Одличне мазивне способности
- Не захтева модификацију дизел мотора
- Мања емисија оксида азота и угљоводоника

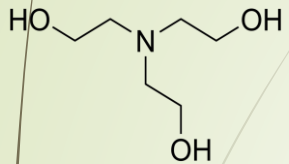




# *In-situ* трансестерификација

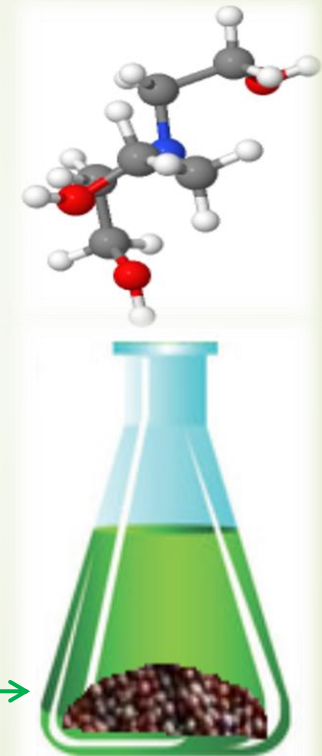
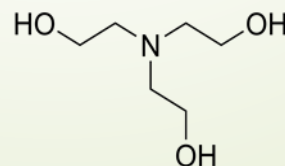
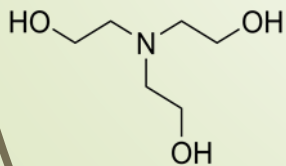


# Триетаноламин у претретману семена црне слачице

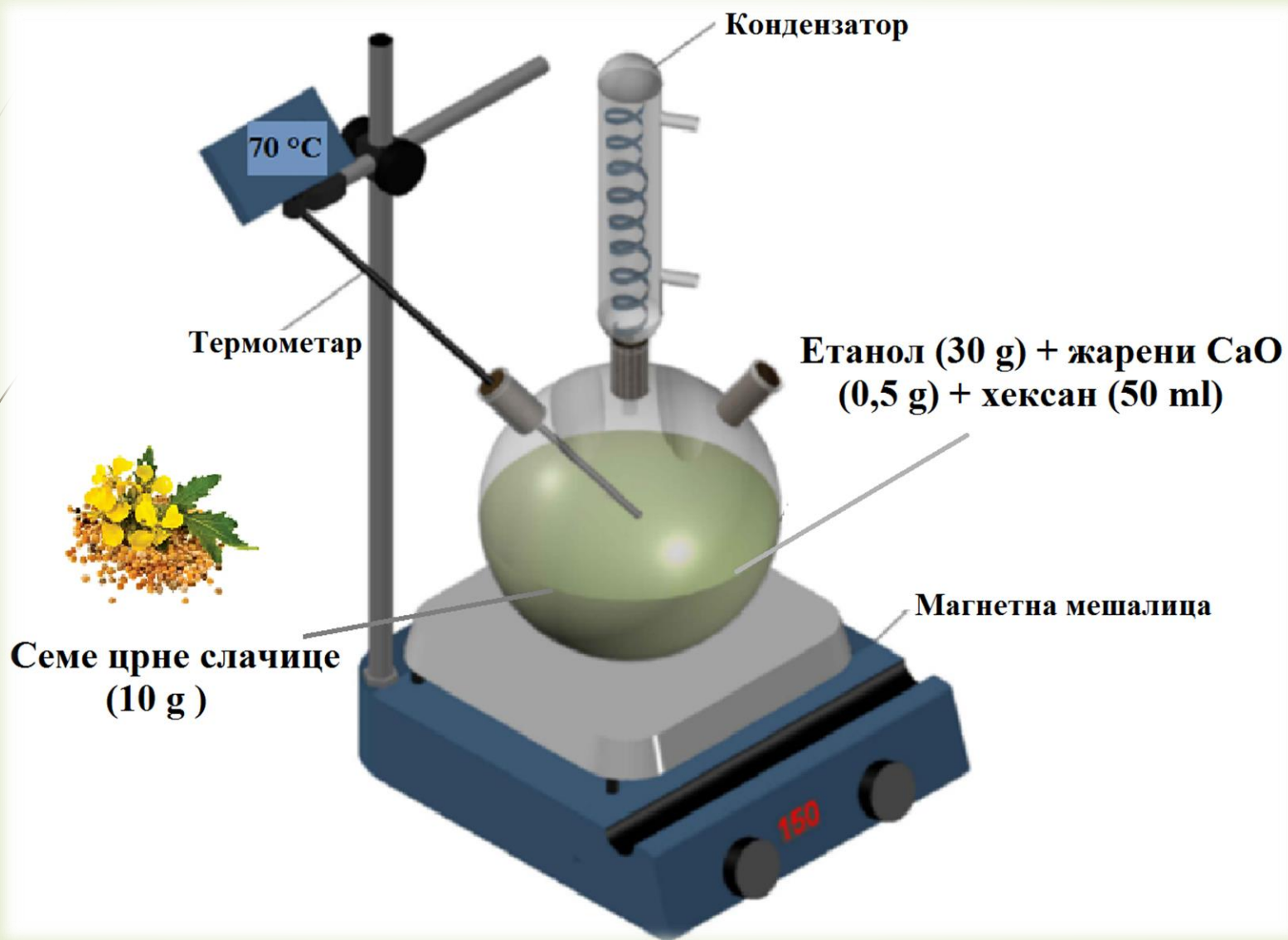


- Јефтин
- Еколошки прихватљив
- Фармацеутска и козметичка примена

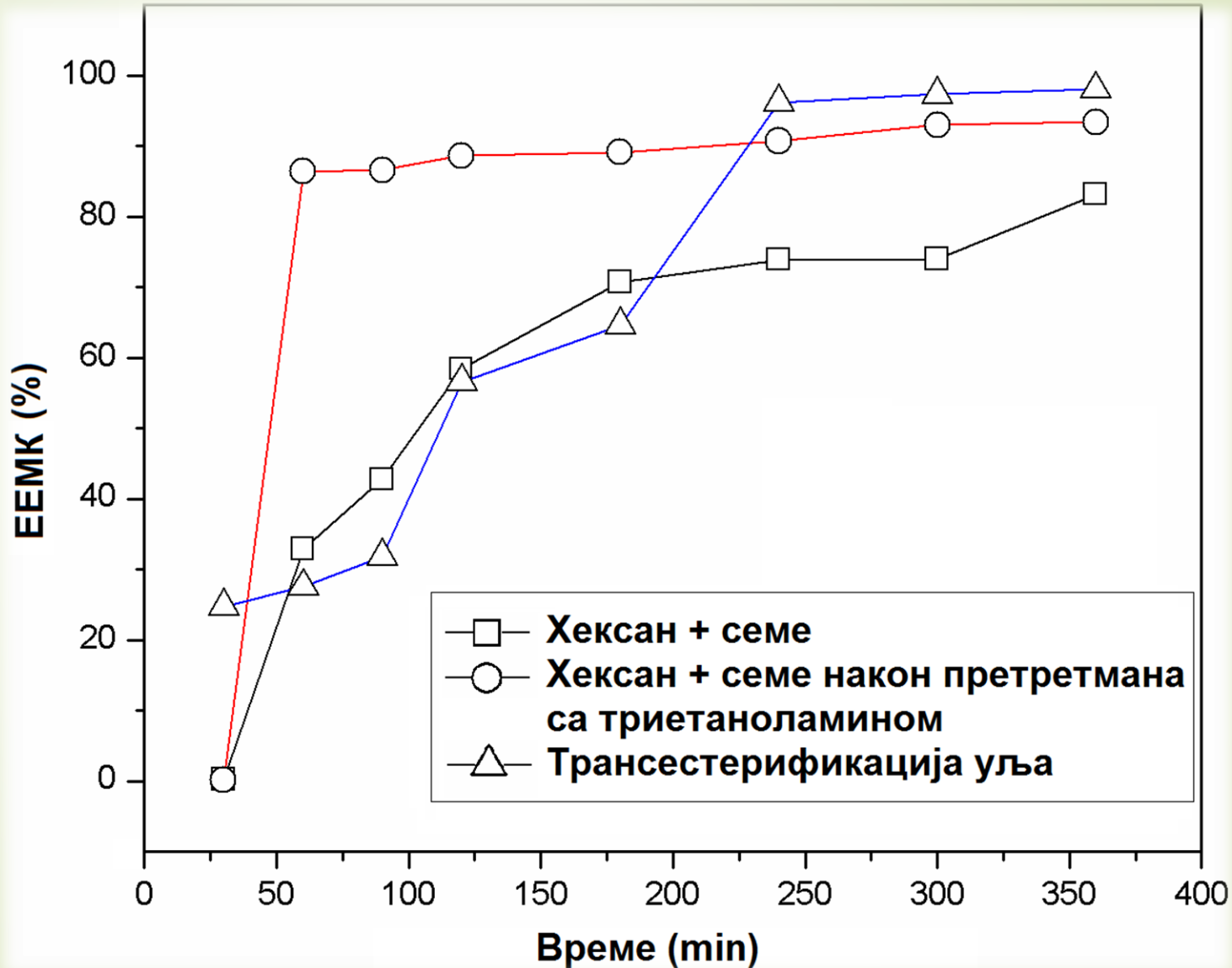
24 h, амбијентална температура



# Апаратура за *in-situ* трансестерификацију



# Промена садржаја ЕЕМК током *in-situ* трансестерификације семена црне слачице, катализоване жареним СаО





# A COMPARISON OF THE CATALYTIC PERFORMANCE OF NUTSHELL ASHES AND CONVENTIONAL CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION

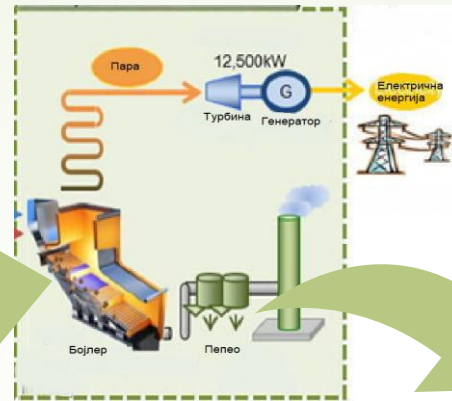
Marija R. Miladinović<sup>1</sup>, Milica Z. Petković<sup>2</sup>, Ivana B. Banković-Ilić<sup>2</sup>, Olivera S. Stamenković<sup>2</sup>, Miodrag V. Zdujić<sup>3</sup>, Vlada B. Veljković<sup>2</sup>

Агро-индустриски  
отпад као извор  
енергије



Љуске  
ораха

Љуске лешника



Биоелектране

Отпад - пепео



# БИОДИЗЕЛ



Пепео као  
катализатор у  
производњи  
биодизела

# Поређење каталитичке активности

## Пепео љуске ораха и лешника

### Припрема катализатора

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



## Конвенционални катализатори (KOH, CaO)

### Припрема катализатора

- Калијум хидроксид без припреме
- Калцинација негашеног креча у пећи за жарење на 550 °C у трајању 4h

## ⇒ Термичка својства

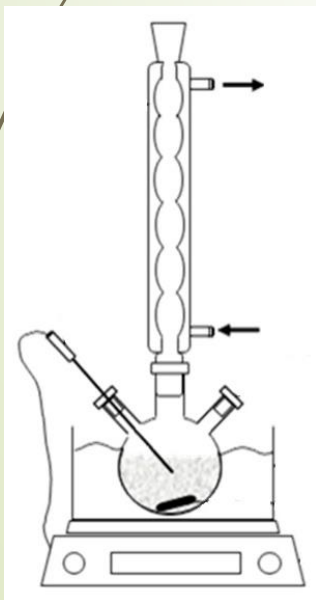
**TG/DTA** (Setsys, SETARAM Instrumentation, Caluire, France) у температурном опсегу 20–700 °C, при брзини загревања од 20 °C min<sup>-1</sup>

## ⇒ 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<sub>α1.2</sub> (λ=1,54178 Å) у опсегу угла дифракције 2θ од 10-90°, кораком од 0,01° са временским интервалом од 5 s).



## ⇒ Метанолиза сунцокретовог уља

*Реакциони услови:*

Молски однос метанол:уље: 12:1

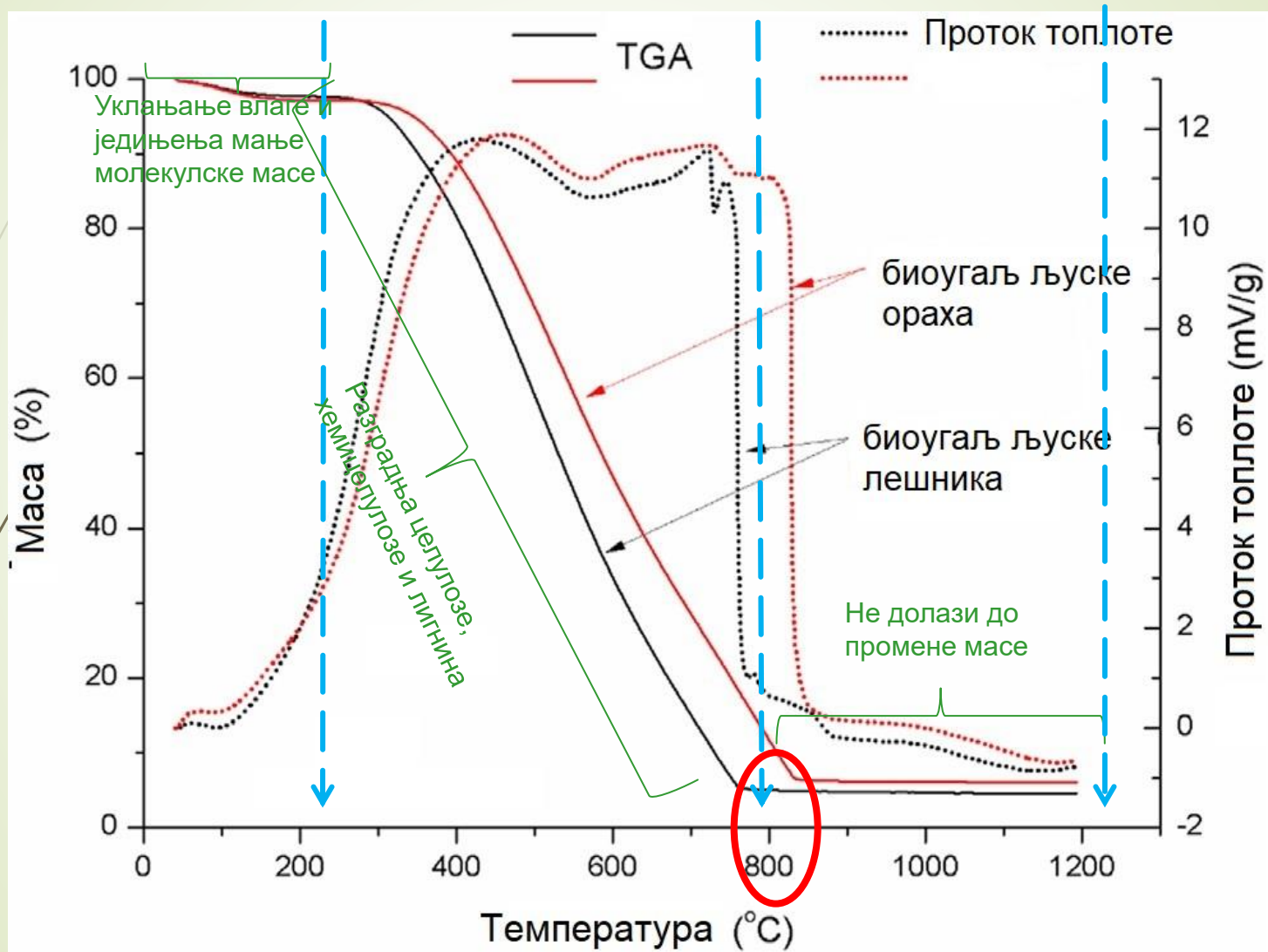
Количина катализатора: 1 и 5 % (у односу на масу уља)

Температура реакције: 60 °C



# РЕЗУЛТАТИ

## ➔ Термичка својства



Слика 1. TG/DTA профил биоугља љуске ораха и лешника

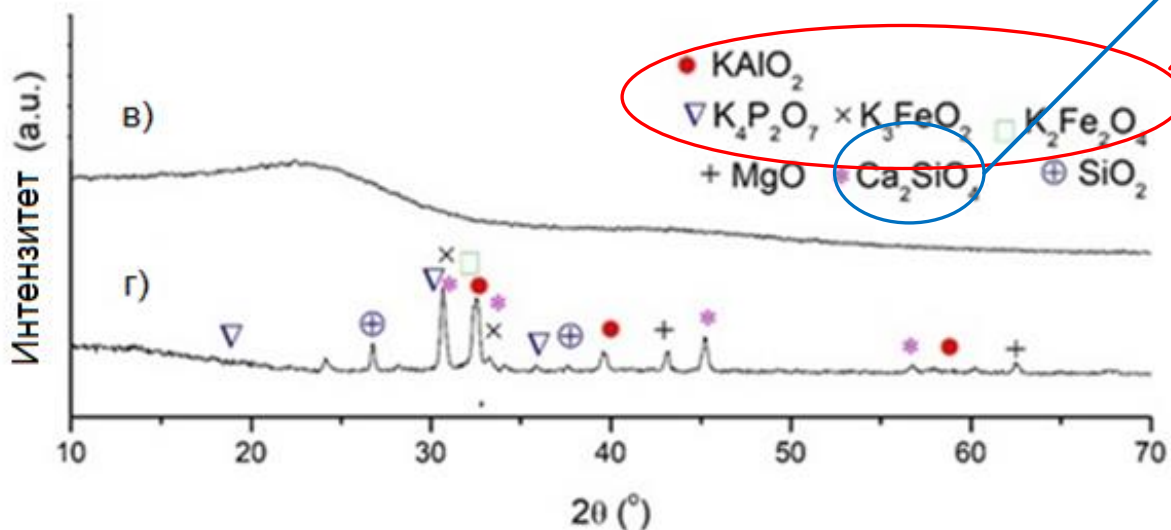
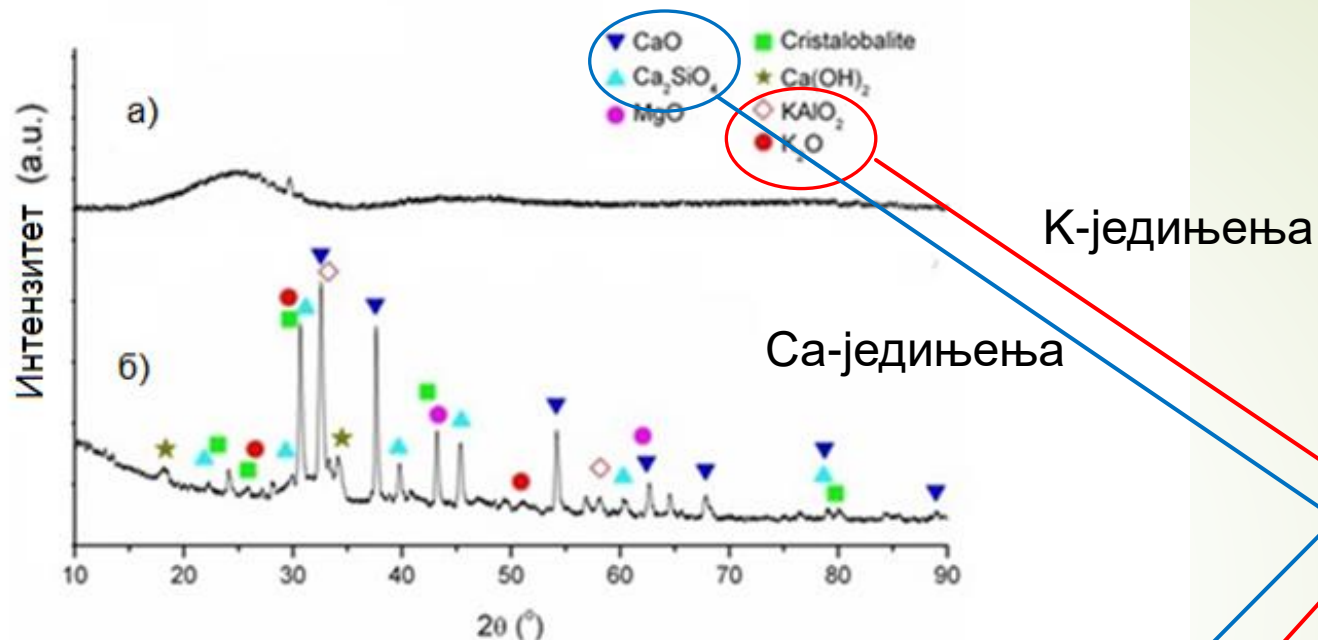
## ⇒ Елементарни састав пепела

Табела 1. Елементарни састав пепела љуски ораха и лешника

	Пепео љуске ораха	Пепео љуске лешника
Елемент	EDX (Елемент, %)	EDX (Елемент, %)
O	55.84	51.55
K	23.55	26.29
Ca	17.67	11.62
Mg	0.43	6.77
P	0.95	6.10

⇒ K и Ca су детектовани као најзаступљенији елементи у оба пепела.

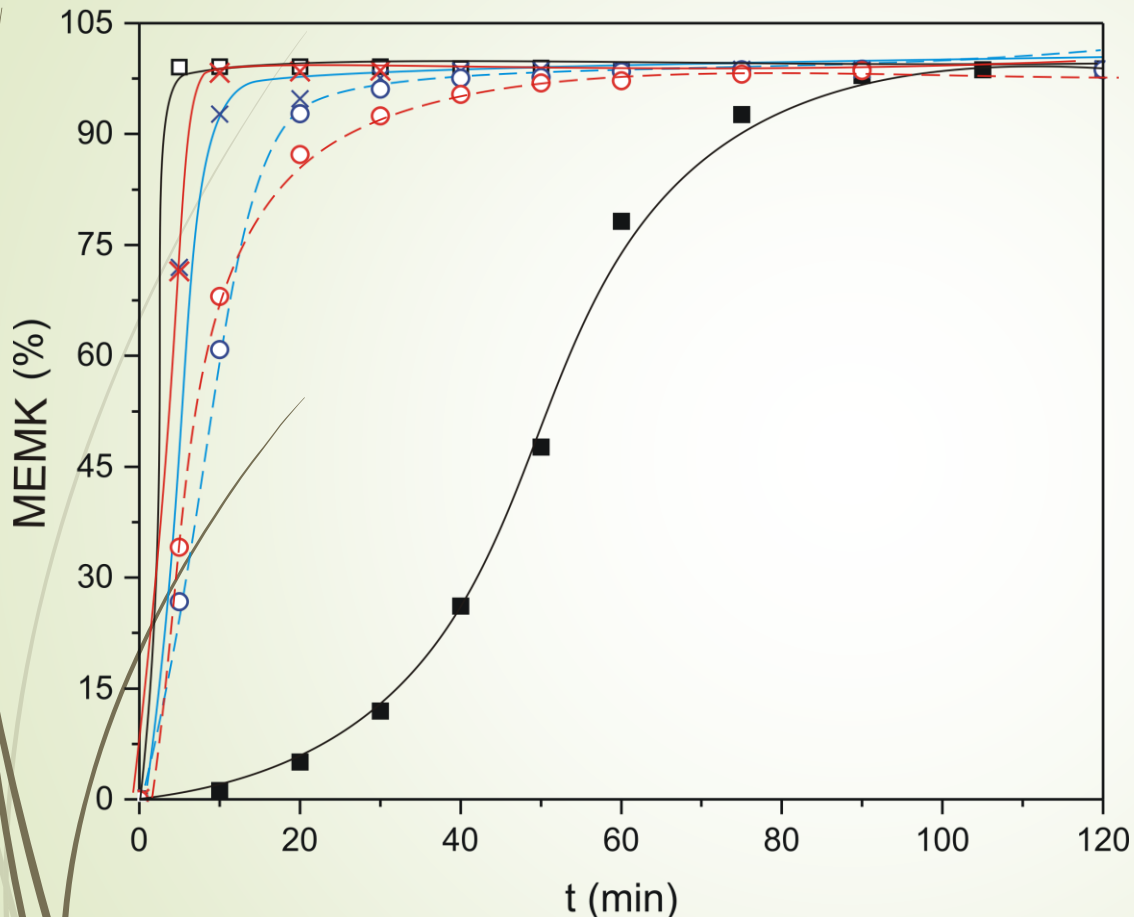
## Фазни састав пепела



Каталитичка активност пепела се може приписати синергистичком ефекту формираних фаза током калцинације на 800 °C

XRD профили биоугља (а,в), пепела љуске ораха (б) и лешника (г)

## ⇒ Метанолиза сунцокретовог уља



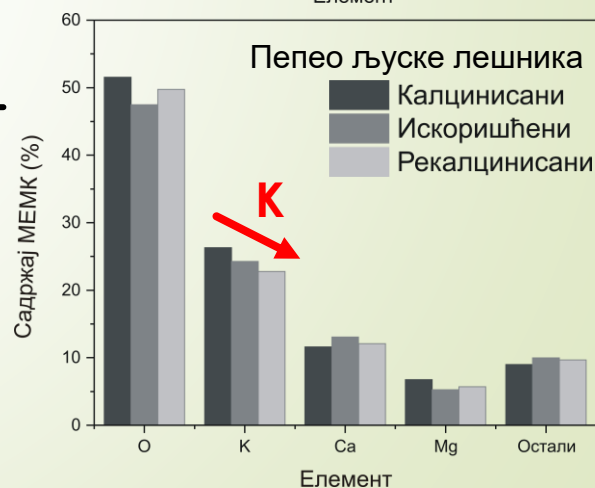
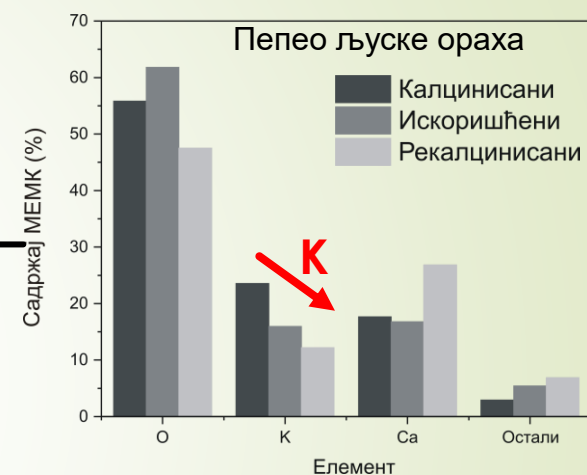
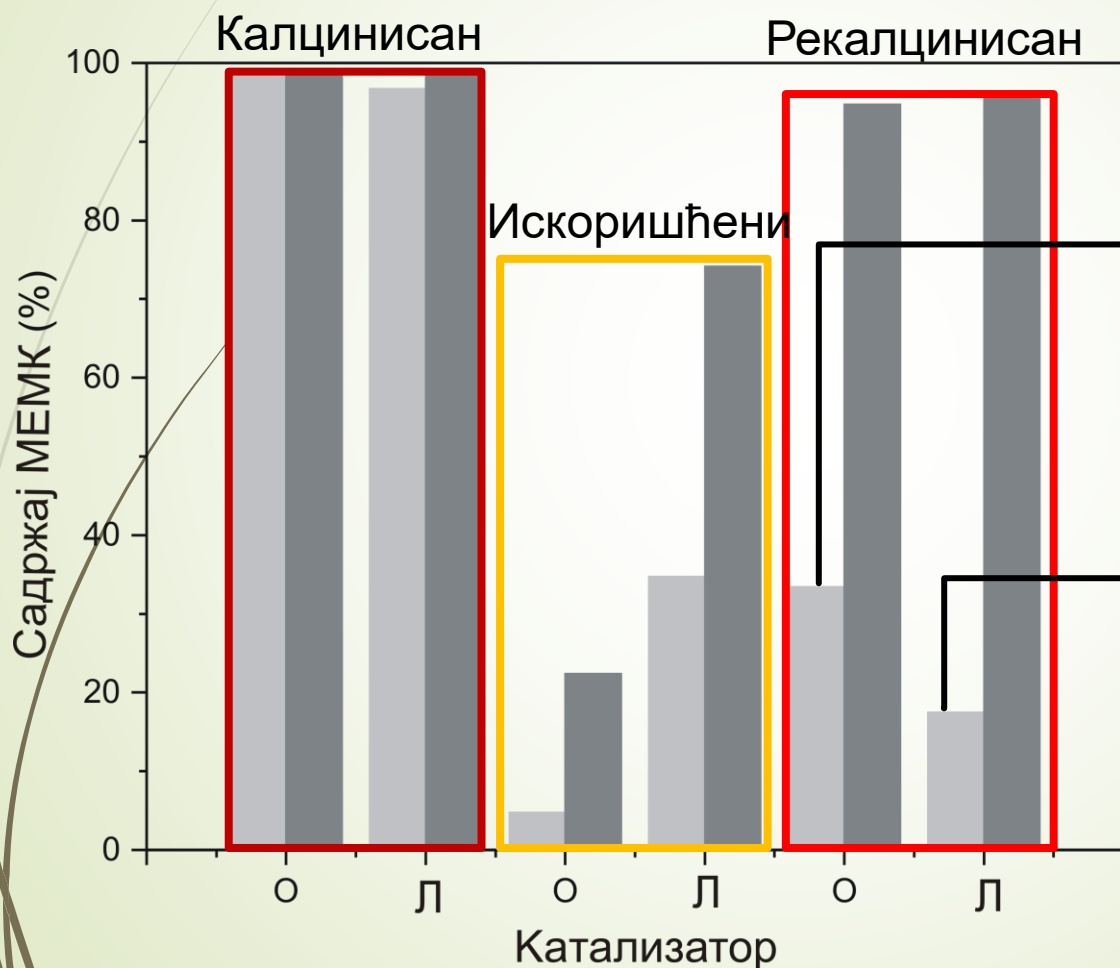
⇒ Разлика у каталитичкој активности пепела лешника и ораха није значајна.

⇒ Показују бољу каталитичку активност у односу на негашени креч као катализатор, али нешто нижу од КОН.

Поређење каталитичке активности пепела лешнике ораха (количина: 1% -○, 5% -×); и лешника (количина 1% -○, 5% -×) са КОН (количина: 1% -□) и негашеним кречом (количина: 5% -■)

## ➤ Предност у односу на хомогени катализатор

- Могућност поновне употребе
- Калцинацијом искоришћеног катализатора постиже се садржај MEMК као и са почетним катализатором након 30 min



Поновна употреба катализатора од пепела љуске ораха (О) и љуске лешника (Л); садржај MEMК након 10 min (светло сива) и након 30 min (тамно сива)



# Примена јонских течности и еутектичких растварача у производњи биодизела

Истакнута монографија националног значаја



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ У ЛЕСКОВЦУ  
ОГРАНАК САНУ У НИШУ



Драган З. Тротер, Зоран Б. Тодоровић,  
Биљана С. Ђорђевић, Оливера С. Стаменковић,  
Влада Б. Вељковић



ПРИМЕНА ЈОНСКИХ ТЕЧНОСТИ  
И ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА  
У ПРОИЗВОДЊИ БИОДИЗЕЛА



Лесковац, 2021. године

Лесковац: Универзитет у Нишу,  
Технолошки факултет  
Ниш : Огранак САНУ у Нишу, 2021.  
ISBN 978-86-89429-48-0

Аутори  
Драган З. Тротер  
Зоран Б. Тодоровић  
Биљана С. Ђорђевић  
Оливера С. Стаменковић  
Влада Б. Вељковић

# Монографија је базирана на научним радовима истраживача и на новијем прегледу објављених истраживања у области примене јонских течности и еутектичких растварача у производњи и пречишћавању биодизела.



Application of ionic liquids and deep eutectic solvents in biodiesel production: A review

Dragan Z. Troter<sup>a</sup>, Zoran B. Todorović<sup>a</sup>, Dušica R. Đokić-Stojanović<sup>1</sup>, Olivera S. Stamenković, Vlada B. Veljković\*



Journal of Food Measurement and Characterization (2020) 14:2570–2577  
https://doi.org/10.1007/s11694-020-00503-3

ORIGINAL PAPER



The effect of the triethanolamine: glycerol deep eutectic solvent on the yield, fatty acid composition, antioxidant activity, and physicochemical properties of black mustard (*Brassica nigra* L.) seed oil

Biljana S. Đorđević<sup>1</sup>, Dragan Z. Troter<sup>1</sup>, Zoran B. Todorović<sup>1</sup>, Ivica G. Đalović<sup>2</sup>, Ljiljana P. Stanojević<sup>1</sup>, Petar M. Mitrović<sup>2</sup>, Vlada B. Veljković<sup>1,3</sup>



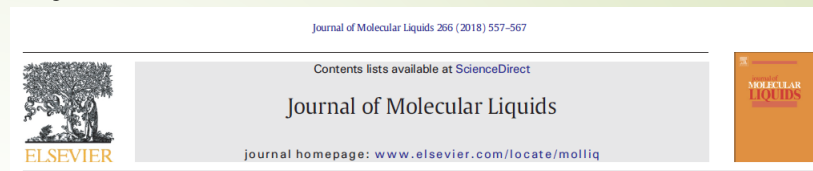
J. Serb. Chem. Soc. 82 (9) 1039–1052 (2017)  
JSCS–5021

Journal of the Serbian Chemical Society  
version electronic

JSCS-info@shd.org.rs • www.shd.org.rs/JSCS  
UDC 541.12.017:547.421–327:544.35:  
544.2.004.12  
Original scientific paper

The physicochemical and thermodynamic properties of the choline chloride-based deep eutectic solvents

DRAGAN Z. TROTTER<sup>1</sup>, ZORAN B. TODOROVIĆ<sup>1</sup>, DUŠICA R. ĐOKIĆ-STOJANOVIĆ<sup>2</sup>, BILJANA S. ĐORĐEVIĆ<sup>1</sup>, VANJA M. TODOROVIĆ<sup>3</sup>, SANDRA S. KONSTANTINOVIC<sup>1</sup> and VLADA B. VELJKOVIĆ<sup>1\*</sup>



Choline chloride-based deep eutectic solvents in CaO-catalyzed ethanolation of expired sunflower oil

Dragan Z. Troter<sup>a</sup>, Zoran B. Todorović<sup>a</sup>, Dušica R. Đokić-Stojanović<sup>b</sup>, Ljiljana M. Veselinović<sup>c</sup>, Miodrag V. Zdujić<sup>c</sup>, Vlada B. Veljković<sup>a\*</sup>



Advanced technologies

5(1) (2016) 53–65

CITRIC ACID-BASED DEEP EUTECTIC SOLVENTS: PHYSICAL PROPERTIES AND THEIR USE AS COSOLVENTS IN SULPHURIC ACID-CATALYSED ETHANOLYSIS OF OLEIC ACID

Dragan Z. Troter<sup>1</sup>, Milica Z. Zlatković<sup>1</sup>, Dušica R. Đokić-Stojanović<sup>2</sup>, Sandra S. Konstantinović<sup>1</sup>, Zoran B. Todorović<sup>1</sup>

(ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER)  
UDC 66.061.18:547.47:577.114



J. Serb. Chem. Soc. 85 (10) 1303–1315 (2020)  
JSCS–5376

Journal of the Serbian Chemical Society  
version electronic

JSCS-info@shd.org.rs • www.shd.org.rs/JSCS  
UDC 547.415.5<sup>2</sup>262–185+544.35.03:544.3.03  
Original scientific paper

The physicochemical properties of the deep eutectic solvents with triethanolamine as a major component

BILJANA S. ĐORĐEVIĆ<sup>1</sup>, DRAGAN Z. TROTTER<sup>1</sup>, VLADA B. VELJKOVIĆ<sup>1,3</sup>, MIRJANA LJ. KIJEVČANIN<sup>2</sup>, IVONA R. RADOVIĆ<sup>2</sup> and ZORAN B. TODOROVIĆ<sup>1\*</sup>



# Значајне техничке одлике

- 426 страница Б5 формата
- Српски језик, ћирилица, фонт Times New Roman, 12
- 27 слика и 46 табела
- Сlike и табеле:
  - информативни називи
  - јасно и прегледно урађене
  - повезане са текстом и нумерисане растућим редом
- Страна имена: према Правопису српског језика у транскрибованом облику
- Литература: списак на крају књиге, по алфавитном редоследу
- Референце аутора:

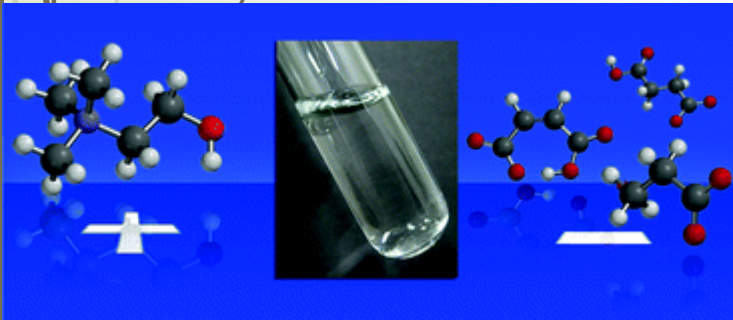
39 референци категорија:    M21a = 16                    M51 = 4  
    M21 = 7                        M52 = 1  
    M22 = 5                        M64 = 1  
    M23 = 5

# Садржај монографије

	Наслов
1	Увод
2	Јонске течности
3	Еутектички растварачи
4	Биодизел
5	Јонске течности у производњи биодизела
6	Еутектички растварачи у производњи биодизела
7	Потенцијали, изазови и будући изгледи примене јонских течности и еутектичких растварача у производњи биодизела
	Списак скраћеница јонских течности и еутектичких растварача
	Списак ћириличких и латиничких скраћеница
	Списак табела и слика
	Литература

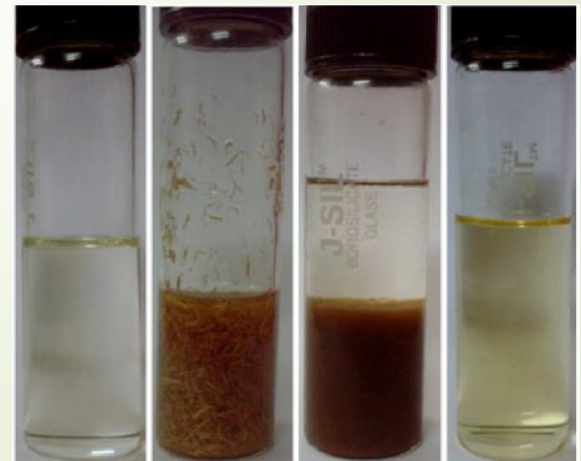
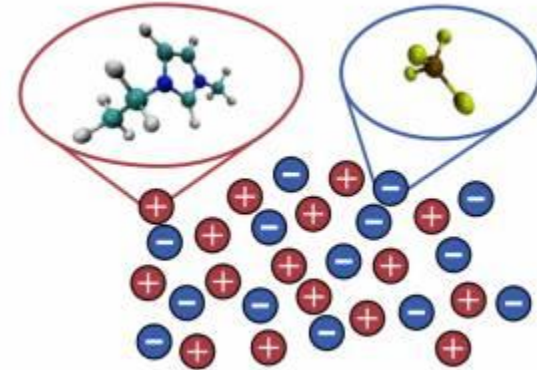
# УВОД

- Указује на главне карактеристике монографије
- Краћим описима, читалац се уводи у садржаје појединих поглавља
  1. јонске течности и еутектички растварачи
  2. значај и важност биодизела
  3. различите примене (улоге) јонских течности и еутектичких растварача у производњи биодизела



# ЈОНСКЕ ТЕЧНОСТИ

- Историјски развој
- Структура
- Синтеза
- Подела
- Својства (тачка топљења, термичка стабилност, густина, вискозност, површински напон, јонска проводљивост)
- Токсичност и биоразградивост
- Примене у различитим процесима



# ЕУТЕКТИЧКИ РАСТВАРАЧИ

## Припрема и својства

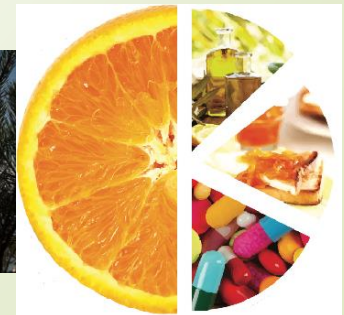
- температура мржњења
- термичка стабилност
- густина
- вискозност
- површински напон
- напон паре
- јонска проводљивост
- поларност
- киселост



## Подела на основу

- природе конституената
- поларности
- броја конституената
- акцептора водоничне везе
- специфичних својстава

- Утицај додавања воде на својства
- Токсичност и биоразградивост
- Примене у различитим процесима





# БИОДИЗЕЛ

## ► Сировине за добијање биодизела

- прва, друга, трећа и четврта генерација
- утицај својстава уљаних сировина на својства биодизела

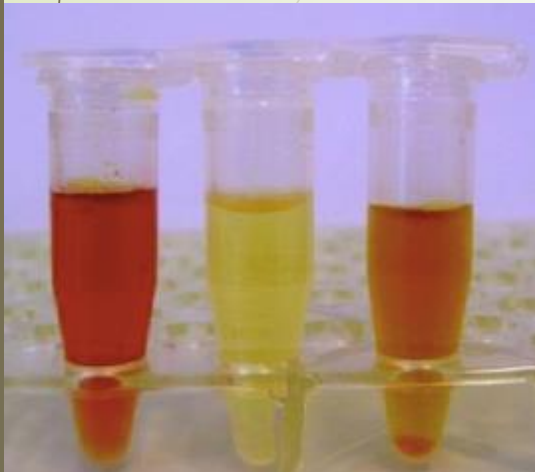
## ► Катализатори у поступцима добијања биодизела

- хомогени,
- хетерогени,
- ензимски,
- некатализована (наткритична) реакција
- поређење поступака

## ► Реакторски системи

- Комерцијални процеси
- Напредне технологије
- Правци развоја технологија

# ЈОНСКЕ ТЕЧНОСТИ У ПРОИЗВОДЊИ БИОДИЗЕЛА



- Катализатори у производњи биодизела (у естерификацији, трансестерификацији, комбиноване са другим катализаторима, у двостепеним процесима)
- Косолвенти у биокатализованој трансестерификацији
- Нове технологије производње биодизела са јонским течностима
- Оптимизација производње биодизела са јонским течностима
- Механизам и кинетика производње биодизела у присуству јонских течности
- Растварачи у припремним и завршним фазама производње биодизела
- Могућност рециклаже јонских течности



# ЕУТЕКТИЧКИ РАСТВАРАЧИ У ПРОИЗВОДЊИ БИОДИЗЕЛА



- Катализа производње биодизела (катализатори у естерификацији, трансестерификацији, у двостепеним процесима, комбиновани са другим катализаторима)
- Растварачи у биокатализованим трансестерификацијама и за пречишћавање биодизела
- Нове технологије производње биодизела са еутектичким растварачима
- Оптимизација производње биодизела у присуству еутектичких растварача
- Механизам и кинетика производње биодизела у присуству еутектичких растварача
- Рециклажа еутектичких растварача

# ПОТЕНЦИЈАЛИ, ИЗАЗОВИ И БУДУЋИ ИЗГЛЕДИ ПРИМЕНЕ ЈОНСКИХ ТЕЧНОСТИ И ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА У ПРОИЗВОДЊИ БИОДИЗЕЛА



- СВOT (SWOT) анализом истакнуте су предности и недостаци коришћења јонских течности и еутектичких растварача у производњи биодизела
- **Посебна пажња: потенцијални правци побољшања процеса**

- Примена јонских течности и еутектичких растварача - у фази лабораторијског истраживања



... постоји шанса да неке од њих достигну примену у индустријским размерама

# ПОТЕНЦИЈАЛИ, ИЗАЗОВИ И БУДУЋИ ИЗГЛЕДИ ПРИМЕНЕ ЈОНСКИХ ТЕЧНОСТИ И ЕУТЕКТИЧКИХ РАСТВОРАЧА У ПРОИЗВОДЊИ БИОДИЗЕЛА



“Молим те, можеш ли ми рећи којим путем би требало да кренем одавде?”, упита Алиса.

“То зависи од тога где желиш да стигнеш”,  
одговори мачак.

*Алиса у земљи чуда, Луис Керол*

# ПРЕГЛЕД ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА ПО ВРСТИ

Назив резултата	Категорија	Број
Монографска студија/поглавље у књизи М11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја	<b>М13</b>	<b>1</b>
Рад у врхунском међународном часопису	<b>М21</b>	<b>1</b>
Рад у истакнутом међународном часопису	<b>М23</b>	<b>1</b>
Рад у националном часопису међународног значаја	<b>М24</b>	<b>1</b>
Саопштење са међународног скупа штампано у целини	<b>М33</b>	<b>1</b>
Саопштење са међународног скупа штампано у изводу	<b>М34</b>	<b>3</b>
Истакнута монографија националног значаја	<b>М41</b>	<b>1</b>
Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у целини	<b>М61</b>	<b>1</b>



# НАЈВАЖНИЈИ РЕЗУЛТАТИ

1. Veljković V.B., Banković-Ilić I.B., Stamenković O.S., Hung Y.-T., Waste vegetable oils, fats and cooking oils in biodiesel production. In Integrated Natural Resources Research, Wang L.K., Wang M.-H.S., Y.-T. Hung, eds., Springer Nature, 2021, ISBN: 9783030610012, **M13**
2. Stamenković O.S., Gautam K., Singla-Pareek S., Dhankher O.P., Djalović I.G., Kostić M.D., Mitrović P.M., Pareek A., Veljković V.B., Biodiesel production from camelina oil: Present status and future perspectives, Food Energy Secur. 2021;00:e340, <https://DOI:10,1002/fes3,340>, **M21**
3. Veličković A., Avramović J., Kostić M., Krstić J.B., Stamenković O., Veljković V.B., Modeling the biodiesel production using the wheat straw ash as a catalyst, Hem. Ind. 75 (5) (2021) 257-276 <https://doi.org/10,2298/HEMIND210526028V>, **M23**
4. Kostić M., Stamenković O., Veljković V., The influence of fatty acid composition on the kinetics of the vegetable oil methanolysis reaction, Advanced Technologies 10(2) (2021) 24-31 <https://doi.org/10,5937/savteh2102024K>, **M24**
5. Тротер Д.З., Тодоровић З.Б., Ђорђевић Б.С., Стаменковић О.С., Вељковић В.Б., „Примена јонских течности и еутектичких растварача у производњи биодизела“, Технолошки факултет у Лесковцу Универзитета у Нишу и Огранак САНУ у Нишу, Лесковац (2021), монографија, **M41**

# САОПШТЕЊА НА СКУПОВИМА

1. Kostić M., Stamenković O., Veljković V., Oil recovery from roadside pennycress (*Thlaspi alliaceum* L.) seeds and its application for biodiesel production, XXII YuCorr International Conference, Proceedings, p. 183-189, ISBN 978-86-82343-28-8, Tara, Serbia, 13-16. September 2021, **M33**
2. Todorović Z.B., Đorđević B.S., Troter D.Z., Veljković V.B., The effect of temperature on the physicochemical properties of the lecithin-based deep eutectic solvents and their use in quicklime-catalyzed transesterification, 5th EuChemS Conference on Green and Sustainable Chemistry, (Virtual)-Conference, Book of abstracts p. 321, Thessaloniki, Greece, 26-29. September 2021, **M34**
3. Miladinović M., Petković M., Banković-Ilić I., Stamenković O., Zdujić M., Veljković V., A comparison of the catalytic performance of nutshell ashes and conventional catalysts for biodiesel production, XIV Symposium „Novel technologies and economic development, Book of Abstracts, p. 129, ISBN 978-86-89429-44-2, Leskovac, Republic of Serbia, 22-23. October 2021, **M34**
4. Đorđević B.S., Todorović Z.B., Troter D.Z., Veljković V.B., Biodiesel production from *Brassica nigra* L. seeds by in-situ transesterification with ethanol, XIV Symposium „Novel Technologies and Economic Development“, Book of Abstracts, p. 130, ISBN 978-86-89429-44-2, Leskovac, Republic of Serbia, 22-23. October 2021, **M34**
5. Troter D., Primena eutekličkih rastvarača sa holin hloridom u heterogeno katalizovanoj etanolizi suncokretovog ulja (pozivno predavanje), Knjiga radova VIII memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine "Docent dr Milena Dalmacija", OR-06, ISBN 978-86-7031-567-9 [Elektronski izvor], Novi Sad, Srbija, 1-2. April 2021, **M61**





**ХВАЛА НА ПАЖЊИ!**