



'21

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД

год. 62

бр. 4 (септембар)

YU ISSN 04406826
UDC 54.011.93



Хемијски Преглед
www.shd.org.rs/hp.htm

90 година од смрти
**Косије
Николића**
(1844-1931)

и 70 година од смрти
**Свењозара
Јовановића**
(1895-1951)

**Први доктори
хемије у Србији**

српско хемијско друштво

ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД CHEMICAL REVIEW



Годиште 62

број 4
септембар

Editor-in-Chief
RATKO M. JANKOV
Deputy Editor-in-Chief
DRAGICA TRIVIĆ

Volume 62
NUMBER 4
(september)

Publisher
SERBIAN CHEMICAL SOCIETY
Belgrade/Serbia, Karnegijeva 4

Издаје
СРПСКО ХЕМИЈСКО ДРУШТВО

Телефон 3370-467

Карнегијева 4

излази двомесечно

ОДГОВОРНИ И ГЛАВНИ УРЕДНИК
Ратко М. Јанков

ПОМОЋНИК ОДГОВОРНОГ И ГЛАВНОГ УРЕДНИКА
Драгица Тривић

ЧЛАНОВИ РЕДАКЦИЈЕ
Јелена Радосављевић, Наталија Половић и Воин Петровић

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

Иван Гутман, Снежана Зарић, Јован Јовановић, Славко Кеврешан, Драган Марковић, Владимир Павловић, Радомир Саичић, Живорад Чековић (председник).

Годишња чланарина, укључује часопис „Хемијски преглед”, за 2021. годину износи:

- за све запослене и студенте докторских студија 2.500,00
- за професоре у основним и средњим школама1.400,00
- за пензионере, студенте основних и мастер студија, ђаке и незапослене.....1.200,00
- претплата за школе и остале институције..... 5.000,00
- за чланове и институције из иностранства. € 70

Чланарину и претплату можете уплатити на рачун СХД:
205-13815-62, позив на број 320.

Web site: <http://www.shd.org.rs/hp/>
e-mail редакције: hempr_ed@chem.bg.ac.rs

Припрема за штампу и штампа:
РИЦ графичког инжењерства Технолошко-металуршког факултета Београд, Карнегијева 4

Насловна страна и Интернет верзија часописа:
Слободан и Горан Ратковић,
RatkovicDesign.com www.ratkovicdesign.net
office@ratkovicdesign.net

САДРЖАЈ

ЧЛАНЦИ

Иван ГУТМАН
Ivan GUTMAN

ПОЛОНИЈУМ – ОТКРИЋЕ И РАНА ИСТОРИЈА
POLONIUM – DISCOVERY AND EARLY HISTORY 78

Весна М. МИЛОВАНОВИЋ, Јовица БРАНКОВИЋ
Vesna M. MILOVANOVIĆ, Jovica BRANKOVIĆ

ПИРАЗОЛСКИ ДЕРИВАТИ: „ЗЕЛЕНА” СИНТЕЗА И МЕДИЦИНСКИ ЗНАЧАЈ
PYRAZOLE DERIVATIVES: GREEN SYNTHESIS AND MEDICINAL SIGNIFICANCE 80

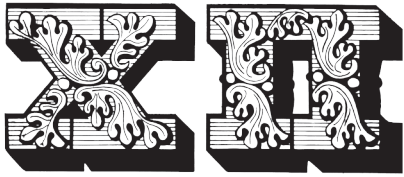
Јована РАДУЛОВИЋ, Ференц КИШ, Милан ТОМИЋ,
Наташа ЂУРИШИЋ-МЛАДЕНОВИЋ
Jovana RADULOVIC, Ferenc KISS, Milan TOMIC, Nataša ĐURIŠIĆ-MLADENOVIĆ

ОТПАДНА ЈЕСТИВА УЉА КАО СИРОВИНЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОГОРИВА
WASTE COOKING OILS AS FEEDSTOCK FOR BIOFUELS PRODUCTION 86

ВЕСТИ из / за ШКОЛЕ

Стеван ЈОКИЋ, Љиљана ЈОКИЋ
Stevan JOKIĆ, Ljiljana JOKIĆ

ПОДУЧАВАЊЕ ПРИРОДНИХ НАУКА НА ПРИМЕРИМА ИЗ ОДРЖИВОГ РАЗВОЈА И КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА
TEACHING NATURAL SCIENCES ON EXAMPLES FROM SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND CLIMATE CHANGES 94



УВОДНИК

Имамо нови председнички тим који води Српско хемијско друштво! На Годишњој изборној скупштини Српског хемијског друштва, одржаној 16. јуна 2021. године, једногласно је изабрана нова руководећа екипа Друштва у наредном мандату, и то у трајању од три године. За председника СХД изабран је редовни професор Хемијског факултета Универзитета у Београду **Душан СЛАДИЋ**, а за потпредседника Српског хемијског друштва ванредни професор Хемијског факултета Универзитета у Београду **Игор ОПСЕНИЦА**. У складу с избором, Скупштина је донела одлуку о именовању Душана Сладића за законског заступника Српског хемијског друштва.

Састанак Скупштине приведен је крају једним лепим гестом: поклоном ручног сата досадашњој председници **Весни МИШКОВИЋ СТАНКОВИЋ** за уложени велики труд и енергију током њеног мандата.

На јунској Скупштини прихваћени су и следећи извештаји: Извештај секретара о раду Друштва у 2020. години, Извештај Управног одбора Друштва о изабраним члановима радних тела, Финансијски извештај за 2020. годину. Такође, изабрани су и бројни други чланови различитих комисија и тимова, тј. радних тела СХД.

* * *

Ако се полонијум уопште и помиње у уџбеницима опште и неорганске хемије, о њему обично пише следеће: „Полонијум је радиоактивни елемент; открили су га супрузи Кири 1898. године у урановој руди пехбленди. Име је добио према Пољској, домовини Марије Кири.“ И то је углавном све. О Марији Кири (Marie Skłodowska Curie, 1867-1934) и њеном супругу Пјеру Кирију (Pierre Curie, 1859-1906) постоји обимна литература како на нашем језику тако и, много више, на енглеском и другим језицима. У чланку **Ивана ГУТМАНА** (Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет), под насловом “Полонијум – откриће и рана историја”, дати су неки мање познати детаљи у вези с открићем и историјом полонијума.

* * *

Пиразоли су представници класе петочланих хетероцикличних једињења, чија су ароматична језгра изграђена од три угљеникова атома и два атома азота која су у суседству један другом. Пиразол је први пут синтетисан 1883. године од стране немачког хемичара Лудвига Кнора (Ludwig Knorr). У покушају да синтетиче хинолински дериват са антипиретичким својствима, Кнор је добио пиразолски дериват. Новом хетероцикличном језгру Кнор је дао хемијски назив пиразол како би га означио као дериват пирила из ког настаје заменом једног угљениковог атома азотом. Временом је синтетисан велики број пиразолских деривата који су показали бројне активности од медицинског значаја.

Многи комерцијално доступни лекови у својој структури садрже пиразолски фрагмент, док су за добијање пиразолских деривата најзначајније синтезе засноване на принципима зелене хемије о чему су, у чланку под насловом “Пиразолски деривати: „зелена” синтеза и медицински значај”, писали аутори **Весна М. МИЛОВАНОВИЋ** и **Јовица БРАНКОВИЋ** (Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет).

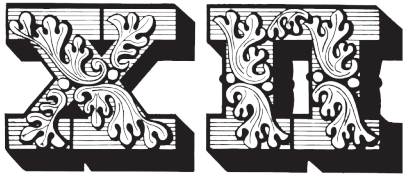
* * *

С обзиром на необновљиво порекло фосилних горива, укључујући и нафту као основну сировину за производњу течних горива незаменљивих у саобраћају, потребно је изнаћи одговарајуће, одрживе алтернативе. Искоришћење енергетске вредности отпадних материјала представља један од начина диверзификације извора енергије на светском, регионалном и/или локалном нивоу. Отпадна јестива уља (ОЈУ) представљају значајан енергетски извор, с обзиром на њихову велику топлотну вредност, као и стално растуће количине, узимајући у обзир да се количина јестивог уља у исхрани неминовно повећава с порастом броја становника и/или животног стандарда. С друге стране, уколико се не врши њихово контролисано сакупљање, одлагање и/или поновно коришћење, ОЈУ представљају опасан отпад, који може значајно нарушити квалитет животне средине. **Јована РАДУЛОВИЋ** (Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет и Linglong International Europe d.o.o, Зрењанин), **Ференц КИШ** (Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет), **Милан ТОМИЋ** (Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет) и **Наташа ЂУРИШИЋ-МЛАДЕНОВИЋ** (Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет) о овој теми дају добар преглед у чланку “Отпадна јестива уља као сировине за производњу биогорива”.

* * *

Подучавање природних наука у школи се обично реализује традиционалним, координисаним и интегралним моделом. За образовање ученика у области природних наука значајно је разматрање комплексних проблема из свакодневног живота. Приказом реализације једноставних експеримената из области одрживог развоја и климатских промена, **Стеван ЈОКИЋ** и **Љиљана ЈОКИЋ** (Пројекат: Рука у тесту) су за рубрику Хемија из/за школе у чланку “Подучавање природних наука на примерима из одрживог развоја и климатских промена” илустровали могућности чвршће сарадње професора природних наука ради формирања функционалне научне писмености ученика.

Ратко М. ЈАНКОВ



ЧЛАНЦИ



Иван ГУТМАН,
Природно-математички факултет Крагујевац,
(email: gutman@kg.ac.rs)

ПОЛОНИЈУМ – ОТКРИЋЕ И РАНА ИСТОРИЈА

У удџеницима ойишће и неорџанске хемије, ако се йолонијум уойишће и йомиње, о њему обично йише следеће:^{1,2} „Полонијум је радиоактивни елемент; ойкрили су га суџрузи Кири 1898. йодине у урановој руди йехбленди. Йме је добио йрема Пољској, домовини Марије Кири.“ Йшо је уйлавном све.

У овом чланку освейлићемо неке мање йознатие дешаље у вези ойкрића и истйорије йолонијума

МАРИЈА И ПЈЕР КИРИ

О Марији Кири (Marie Skłodowska Curie, 1867-1934) и њеном супругу Пјеру Кирију (Pierre Curie, 1859-1906) постоји огромна литература како на нашем језику тако и, много више, на енглеском и другим језицима. Претпостављамо да читаоци „Хемијског прегледа“ знају довољно о тим легендарним научницима. Ако не, нека прочитају књижице^{3,4} „Марија Кири“, „Опсесивни геније“, или неку од безбројних текстова који се могу наћи на интернету. Зато ћемо се овде у телеграфском стилу подсетити на, за овај чланак, најважније чињенице.^{5,6}

Марија Кири, девојачког презимена Склодовска, рођена је 1859. године у Варшави, која је у то време била у оквиру Руске царевине.

Године 1891. прешла је у Париз, да би студирала природне науке. Њен ментор је постао Пјер Кири, тада већ угледни физичар.

Године 1895. Пјер и Марија су се венчали.

За разлику од Пјера (који се бавио кристалографијом), Марија је за тему својих истраживања изабрала новооткривене појаве у вези зрачења уранијума. Касније је то Марија назвала „радиоактивност“.

Интензитет зрачења Марија мери преко електричне проводљивости ваздуха у околини испитиваног узорка. Установљава да пехбленда, једна руда уранијума, зрачи јаче него што би се очекивало на основу садржаја уранијума. Закључује да то указује на присуство неке друге радиоактивне супстанце. Ове резултате Марија саопштава у априлу 1898. године.

Схватајући значај ових открића, Пјер Кири се придружује Маријиним истраживањима.

ОТКРИЋЕ ПОЛОНИЈУМА

Када су наслутили да ће у руди уранијума бити нека друга радиоактивна супстанца, Киријеви су из Чешке набавили већу количину (неколико тона) руде која се

назива „пехбленда“. У тој руди садржај уранијума је око 75%.

Данас знамо да је садржај полонијума у пехбленди незнатан: тона руде садржи само око 0,1 милиграма полонијума. Срећом, Киријеви то нису знали, па су пуни оптимизма кренули да га изолују из пехбленде.

Поступак који су примењивали при добивању полонијума⁷ састојао се у вишеструком растварању руде у киселинама, а затим таложењу помоћу водоник-сулфида. Увек су пратили ону фракцију у којој се налазила супстанца која је зрачила. На крају су добили остатак који се углавном састојао од бизмут-сулфида (Bi_2S_3). Учили су да се радиоактивна компонента таложи нешто брже од самог бизмут-сулфида, па су такво таложење понављали неколико пута. На крају су добили узорак који је био 400 пута радиоактивнији од уранијума. Аутори кажу:⁷

Верујемо, сйоџа, да суџстанца коју смо издвојили из йехбленде садржи један метйал који до сада није био ойисан, сличан бизмуту йо својим аналитйичким особинама. Ако се йосйџојања овој новој метйала буде йоџвердило, йредлажемо да буде назван йолонијум, йо имену земље йорекла једној од нас.

Рад⁷ објављен је у јулу 1898. године.

ОТКРИЋЕ ПОЛОНИЈУМА - МАЊЕ ПОЗНАТИ ДЕТАЉИ

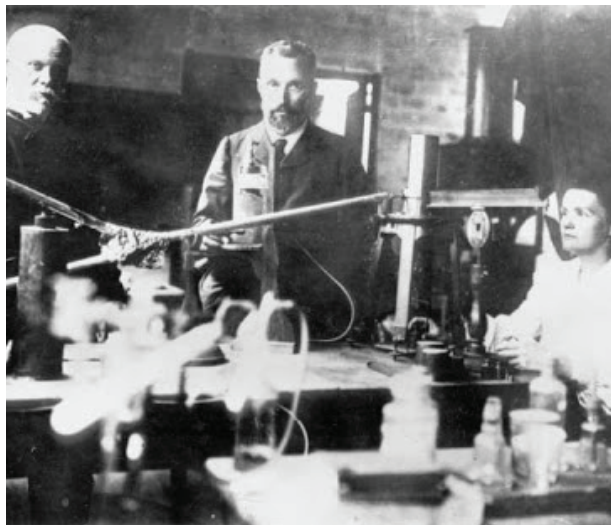
Ни Пјер ни Марија Кири нису били хемичари и нису знали како се поједини елементи издвајају из руде. За то им је помогао хемичар Гистав Бемон (Gustave Bémont, 1857-1937). Занимљиво је да се Бемон не помиње у раду⁷ о открићу полонијума, али ће касније бити наведен као један од аутора код открића радијума.⁸

Први аутор у раду⁷ је Пјер Кири. То ће касније бити и у раду⁸ у којем се саопштава о открићу радијума. Данас је несумњиво утврђено да је Марија Кири била главни аутор открића како полонијума тако и радијума. Штавише, она је изводила и тешке физичке послове при обради великих количина руде. У 19. веку је улога жене (и код куће, у друштву, и у лабораторији) била другачија него данас.

У раду⁷ као други аутор наведена је S. Curie (тачније: Mme. S. Curie), што ваљда потиче од Мадам Склодовска Кири.

Супстанца на основу које су аутори тврдили да су открили нови елемент била је 400 пута активније од уранијума. Знајући време полураспада уранијума-238 (4,468

милијарди година) и полонијума-210 (138,376 дана), лако се може израчунати да је у узорку коју су Марија и Пјер Кири добили било свега 0,000003% полонијума.



Слика 1: Пјер и Марија Кири у својој лабораторији. У левом углу је Гистав Бемон. То је једина фотографија Бемона коју смо успели пронаћи.

У време на које се односе наша разматрања, једна од стандардних метода за доказивање да је откривен нови хемијски елемент било је снимање спектра и налажење нових, до тада незабележених, линија у њему. Француски хемичар Демарше (Eugène-Anatole Demarçay, 1852-1903) је заиста snимио спектар узорка који су Киријеви добили, али у њему није нашао ни једну нову линију. Данас, знајући колико је полонијума могло бити у том узорку, ово је потпуно разумљиво и очекивано.



Слика 2: Ежен-Анатоан Демарше, француски хемичар и спектроскопичар. Открио је еуропијум. Није упео да спектроскопски потврди постојање полонијума.

Када са данашње тачке гледишта размотримо оно што се сматра открићем полонијума, морамо да закључимо да је рад⁷ био научно прилично непоуздан и неуверљив. Данас такав рад тешко да би био одобрен од рецензената.

Још једна напомена.

Пољска је држава од старина, са дугом и богатом историјом. Међутим, у време када је полонијум откривен, територија данашње Пољске била је подељена између Русије, Немачке и Аустро-Угарске, а држава Пољска није постојала. (Савремена Пољска обновљена је 1918.) Зато је, крајем 19. века, име „полонијум“ имало другачије, донекле провокативно значење него што нам се чини данас.

ШТА ЈЕ БИЛО ПОСЛЕ

Врло брзо након открића полонијума, Киријеви, заједно са Бемоном, саопштавају о открићу још једног новог радиоактивног елемента⁸ који називају „радијум“. Рад⁸ објављен је у децембру 1898. године.

Због разних разлога, радијум је био много погоднији за проучавање (а убрзо и за примене у медицини), тако да је пажња науке са полонијума прешла на радијум. Од тих разлога довољно је сетити се да у рудама уранијума има много више радијума, и он се из ње може ефикасно изоловати, те да је време полураспада радијума погодних 1600 година.

Полонијум је изолован у мерљивим количинама тек почетком двадесетог века.

Први је то постигао немачки хемичар Вили Марквалд (Willy Marckwald, 1864-1942). Он је 1905. године обрадио 15 тона пехбленде, да би на крају добио 3 mg радиоактивног материјала за који је сматрао да је „радио-телур“, дакле неки радиоактивни изотоп телура.⁵ Данас знамо да је Марквалд добио полонијум.



Слика 3: Вили Марквалд, немачки хемичар који се највише бавио органском хемијом. Предлаган је за Нобелову награду, али је није добио. Из 15 тона пехбленде издвојио је 3 милиграма полонијума.

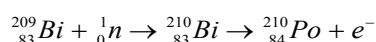
Ситуација је коначно потпуно разрешена 1910. године, када су Марија Кири и Андре Дебиерн (André Debierne, 1874-1949) из неколико тона пехбленде изоловали око 0,1 mg полонијума, снимили му линијски спектар и одредили карактеристичне спектралне линије.⁵

ЈОШ НЕШТО О ПОЛОНИЈУМУ

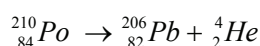
Када већ говоримо о полонијуму, вреди забележити и следеће.

Полонијум о које смо говорили је полонијум-210. Осим њега познато је још 41 других изотопа овог елемента. Сви су радиоактивни. Најстабилнији је полонијум-209, са временом полураспада од 125,2 година.

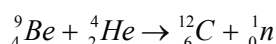
Полонијум се данас искључиво добија нуклеарном реакцијом, бомбардовањем бизмута неутронима:



Полонијум-210 подлеже алфа-распаду, са полувременом од око 138 дана:



У контакту са берилијумом, алфа-честице настале распадом полонијума ослобађају неутроне:



Ова нуклеарна реакција служи за активирање атомских бомби.

Полонијум је веома отрован, а смртоносан је и због свог алфа-зрачења. Постоје примери када се он користио за политичка убиства. Најпознатије је убиство Александра Литвињенка (2006), а сумња се да је од полонијума страдао и Јасер Арафат (2004).

Abstract

POLONIUM – DISCOVERY AND EARLY HISTORY

Ivan Gutman, *University of Kragujevac, Faculty of Science*

The discovery of the chemical element polonium is described. Some less-known details are pointed out. For instance, in addition to Maria and Pierre Curie, the French chemist Bémont played a significant (and later ignored) role in the discovery. The paper published in 1898 did not contain convincing proofs of the true existence of polonium, which was eventually confirmed only in 1905 and 1910.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Мелор, Мелорова модерна неогранска хемија, Научна књига, Београд, 1973.
2. С. Арсенијевић, Општа и неорганска хемија, Научна књига, Београд, 1986.
3. Е. Кири, Марија Кири, Матица српска, Нови Сад, 1949.
4. Б. Голдсмит, Опсесивни геније – Унутрашњи свет Марије Кири, Хеликс, Београд, 2006.
5. E. Pilgrim, Entdeckung der Elemente, Mundus-Verlag, Stuttgart, 1950.
6. J. P. Adloff, A short history of polonium and radium, Chemistry International, 1-2 (2011) 20-23.
7. P. Curie, S. Curie, Sur une substance nouvelle radioactive contenue dans la pechblende, Comptes rendus de l'Académie des Sciences 127 (1898) 175-178.
8. P. Curie, M. Curie, G. Bémont, Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende, Comptes rendus de l'Académie des Sciences 127 (1898) 1215-1218.



ВЕСНА М. МИЛОВАНОВИЋ,
ЈОВИЋА БРАНКОВИЋ,

Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет

Е-пошта: vesna.milovanovic@pmf.kg.ac.rs, jovica.brankovic@pmf.kg.ac.rs

ПИРАЗОЛСКИ ДЕРИВАТИ: „ЗЕЛЕНА” СИНТЕЗА И МЕДИЦИНСКИ ЗНАЧАЈ

ИЗВОД

Пиразол је први пут синтетисан 1883. године од стране немачког хемичара Лудвига Кнора (Ludwig Knorr). У покушају да синтетише хинолински дериват са антипиретичким особинама, Кнор је добио пиразолски дериват. Новом хетероцикличном језгру Кнор је дао хемијски назив пиразол како би га означио као дериват пирила из ког настаје заменом једног угљениковог атома азотом. Због његовог антипиретичког дејства назвао га је и Антипирин. Временом је синтетисан велики број пиразолских деривата који су показали бројне активности од медицинског значаја.

Многи комерцијално доступни лекови у својој структури садрже пиразолски фрагмент, као што су целекоксиб, силденафил и пиразомицин. Међу бројним методологијама за добијање пиразолских деривата најзначајније су синтезе засноване на принципима зелене хемије.

УВОД

Пиразоли су представници класе петочланих хетероцикличних једињења, чија су ароматична језгра изграђена од три угљеникова атома и два атома азота, који су у суседству један другом. Према литературним подацима, пиразолски дериват је први пут

синтетисан 1883. године од стране Лудвига Кнора са првобитним циљем синтезе хинолинског деривата. У реакцији фенилхидразина и ацетсирћетног естра Кнор је синтетисао пиразолон који је због антипиретичког дејства назван Антипириин (Феназон), Схема 1.[1,2] Открићем антипирина се показало његово антипиретичко дејство, што је допринело интересовању за хемијом пиразола.[2,3]

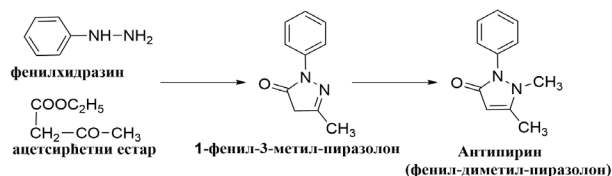
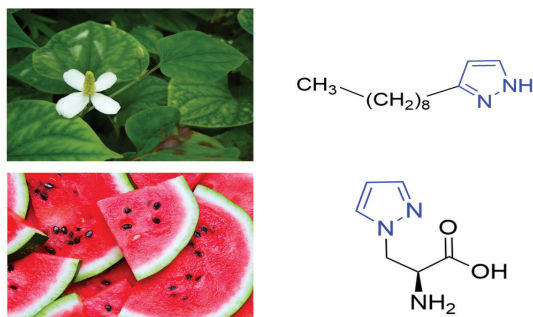


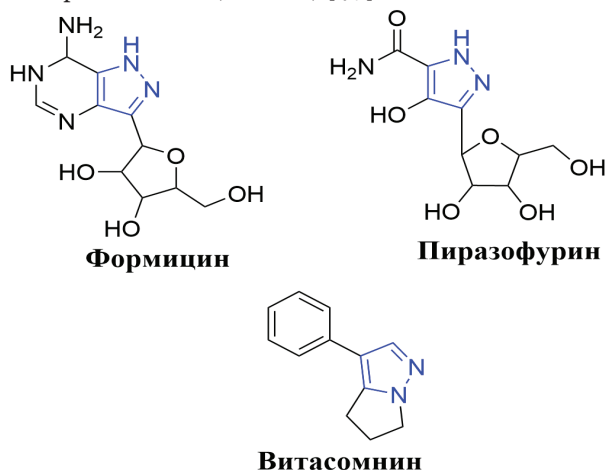
Схема 1. Синтеза антипирина.

Дуго се сматрало да се пиразолски фрагмент не може пронаћи у природи, али се испоставило да није тако. Први изоловани пиразолски деривати 3-*n*-нонил-1*H*-пиразол из азијске биљке *Houttuynia cordata* и β -(1-пиразолил)аланин из семена лубенице, демантовали су ову претпоставку (Слика 1).



Слика 1. Деривати пиразола изоловани из биљака.

Током времена су пиразолски деривати изоловани и из различитих врста микроорганизама, који су препознатљиви по продукцији медицински значајних метаболита. Пиразофуриин, формицин и витамин су примери биоактивних пиразолских деривата изолованих из бактерија *Streptomyces candidus*, односно *Streptomyces lavendulae* и *Withania somnifera* Dun, респективно (Слика 2).[4,5]



Слика 2. Деривати пиразола изоловани из бактерија.

ПРИМЕНА ЗЕЛЕНЕ ХЕМИЈЕ ПРИ СИНТЕЗАМА ПИРАЗОЛСКИХ ДЕРИВАТА

Зелена хемија представља дизајнирање хемијских производа и процеса којима се смањује или елиминисе употреба и стварање опасних материја.[6,7] Како би се одговорно спроводили различити хемијски процеси, потребно је придржавати се принципа зелене хемије који су представљени на Слици 3.[7]

Принципи зелене хемије					
1. Профилактика отпада	2. Атомска економичност-ефикасност	3. Мање шкољиве хемијске синтезе	4. Сигурније хемикалије и производи	5. Сигурнији растварачи и помоћне супстанце	6. Енергетска ефикасност
7. Примена рециклабилних сировина	8. Смањење дериватизације	9. Употреба катализатора	10. Деградациони дизајн	11. Профилактика загађења	12. Смањење могућности несрећа

Слика 3. Принципи зелене хемије.

Када је зелена хемија у питању, идеално би било када би се реакције одвијале без примене растварача, или уколико је то неизводљиво, вода као растварач представља најбољи избор. Међутим, један од важних недостатака примене воде као растварача је лоша растворљивост органских једињења, зато се често користи комбинација воде и других растварача, односно корастварача.[8,9]

Посматрано са еколошког и економског аспекта, катализа такође има важну улогу у зеленој хемији. При избору катализатора важно је размотрити њихове карактеристике као што су: ефикасност, селективност, ниска токсичност и рециклабилност. Поред познатих „зелених“ катализатора, као што су зеолит и глина, важно је синтетисати и нове еколошки прихватљиве катализаторе.[10,11]

Јонске течности спадају у новију класу тих катализатора. То су течне органске соли које су веома погодне за дизајн „зелених“ синтетичких метода и привлаче пажњу научника јер су незапаљиве, неиспарљиве и рециклабилне, а такође повећавају и ефикасност процеса побољшавањем хемијске реактивности. У органским синтезама, јонске течности имају примену и као катализатори и као растварачи.[12–14]

Важно је напоменути и примену алтернативних извора енергије, попут ултразвучног и микроталасног зрачења, који су такође алати зелене хемије. За зелену хемију значајне су и *one-pot* мултикомпонентне реакције због бројних предности: оперативна једноставност, скраћење периода реакције и редуковање непотребних производа.[15–17] Синтеза пиразолских деривата је одувек привлачила пажњу научника због бројних биолошких активности које ова једињења испољавају.[18–23]

Уобичајене методе за синтезу пиразолских деривата су реакције циклокондензације хидразина и његових деривата са различитим карбонилним системи-

ма, 1,3-диполарне циклоадиције и мултикомпонентне реакције.[24]

Неке од познатих реакција за синтезу пиразолских деривата су:

- синтеза 3,5-диарил-1*H*-пиразола из халкона уз употребу хидразин хидрата;[25]
- синтеза 1,3,5-трисупституисаних пиразола циклокондензацијом фенилхидразина са незашићеним кетонима у присуству сирћетне киселине и елементарног јода;[26].
- 1,3-диполарна реакција циклоадиције етил- α -диазо-ацетата са алкином у триетиламину и са цинк трифлатом-као катализатором;[27]
- синтеза региоселективних пиразолских деривата у присуству диполарних апротичних растварача и хлороводоничне киселине.[28]

Један од главних циљева у органским синтезама је примена еколошки прихватљивих метода. Све претходно наведене реакције, као и многе друге за синтезу пиразола, захтевају примену токсичних реагенса и као такве не задовољавају принципе зелене хемије. У наставку ће бити описане неке од „зелених” метода за синтезу различитих пиразолских деривата.

„ЗЕЛЕНЕ” СИНТЕЗЕ БЕНЗОИЛ-ПИРАЗОЛА

Лимунов сок као „зелени” катализатор и растварач за синтезу бензоил-пиразолских деривата

Бензоил-пиразолски деривати су синтетисани једноставном, еколошки прихватљивом „*one-pot*” методом, у реакцији различитих бензохидразида и ацетилацетона у лимуновом соку на собној температури, Схема 2.[29]

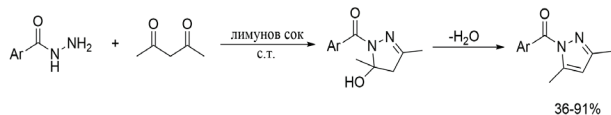


Схема 2. „Зелена” синтеза бензоил-пиразолских деривата.

У овој реакцији лимунов сок је употребљен као „зелени” растварач и катализатор истовремено. Производи су добијени на собној температури за кратко реакционо време, у умереном до одличном приносу.[29]

СМЕША НЕТОКСИЧНИХ РАСТВОРАЧА ЗА СИНТЕЗУ БЕНЗОИЛ-ПИРАЗОЛА

У литератури је позната и синтеза бензоил-пиразола у реакцији бензохидразида и ацетилацетона, без примене катализатора и у смеси воде и глицерола (1:1), Схема 3. Методологија се сматра „зеленом” због благих реакционих услова, одсуства катализатора и примене еколошки бенигних растварача.[30]

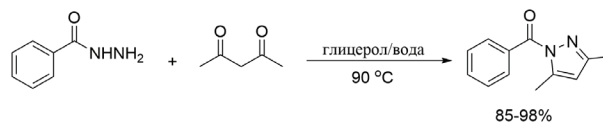


Схема 3. „Зелена” синтеза бензоил-пиразола у смеси бенигних растварача.

ЛИМУНСКА КИСЕЛИНА КАО „ЗЕЛЕНИ” КАТАЛИЗАТОР ЗА СИНТЕЗУ БЕНЗОИЛ-ПИРАЗОЛА У СМЕШИ НЕТОКСИЧНИХ РАСТВОРАЧА

У литератури се од недавно може наћи и методологија за синтезу фенолних бензоил-пиразолских деривата у смеси етанола и воде, уз присуство лимунске киселине као „зеленог” катализатора. Реакција је изведена на собној температури за кратко реакционо време, при чему су добијени производи у добром до одличном приносу, Схема 4.[31]

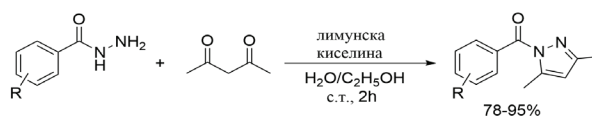


Схема 4. „Зелена” синтеза фенолних бензоил-пиразолских деривата у присуству лимунске киселине.

ЈОНСКА ТЕЧНОСТ КАО „ЗЕЛЕНИ” КАТАЛИЗАТОР ЗА СИНТЕЗУ ПИРАЗОЛ-ФТАЛАЗИН-ДИОНА

Пиразол-фталазин-дионски деривати су синтетисани у *one-pot* мултикомпонентној реакцији фталхидразида, различитих ароматичних алдехида и ацетилацетона, Схема 5.[32] У овој реакцији је као „зелени” катализатор употребљена јонска течност диетаноламонијум хлорацетат [HDEA][ClAc]. Реакција је изведена без присуства растварача на 140°C трајању од 6h, при чему су производи изоловани у добром до одличном приносу.[32]

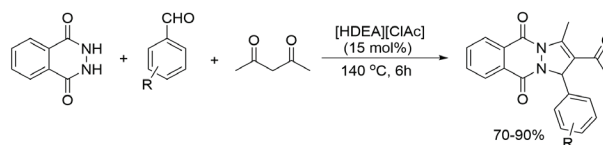


Схема 5. „Зелена” синтеза пиразол-фталазин-дионских деривата.

ЈАЈА У ПРАХУ КАО БИОДЕГРАДАБИЛНИ ХЕТЕРОГЕНИ КАТАЛИЗАТОР ЗА СИНТЕЗУ ПИРАЗОЛ-ФТАЛАЗИН-ДИОНА

Пиразол-фталазински деривати се могу добити и ефикасном *one-pot* мултикомпонентном методологијом, применом јаја у праху као биодјеградабилног катализатора. У четворокомпонентној реакцији фталанхидрида, хидразин хидрата, активних метиленских једињења и ароматичних алдехида добијени су

пиразол-фталазински деривати у води као раствара-
чу, за кратко реакционо време и у одличном приносу,
Схема 6.[33]

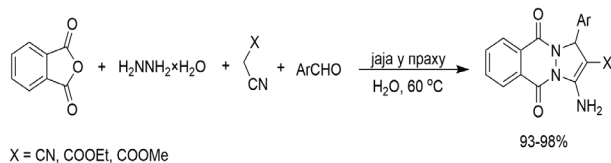


Схема 6. „Зелена” синтеза пиразол-фталазин-дионских деривата.

ВОДА КАО „ЗЕЛЕНИ” РАСТВОРАЧ ЗА СИНТЕЗУ ПИРАЗОЛ-ИНДОЛСКИХ ДЕРИВАТА

У реакцији β -етилтио- β -индолил- α,β -незасићених кетона и хидразина у присуству *p*-додецилбензенсулфонске киселине и у води као растварачу, добијени су пиразол-индолски деривати у одличном приносу, Схема 7.[34] Ову методологију карактерише одсуство токсичних растварача, једноставна процедура и одличан принос добијених производа.

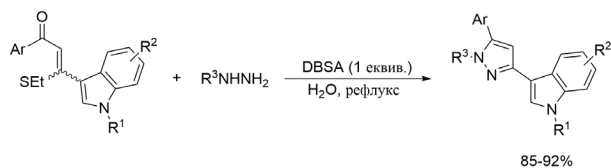


Схема 7. „Зелена” синтеза пиразол-индолских деривата.

СИНТЕЗА ПИРАЗОЛА ПОМОЋУ МИКРОТАЛАСНОГ ОЗРАЧИВАЊА

Помоћу микроталасног озрачивања као алата зелене хемије, у реакцији између тозил-хидразона и α,β -незасићених карбонилних једињења, извршена је синтеза пиразола у присуству K_2CO_3 и *p*-толуенсулфонил-хидразида, Схема 8. Ова реакција је и економски прихватљива, посматрано са аспекта реакционог времена и добијених приноса.[35]

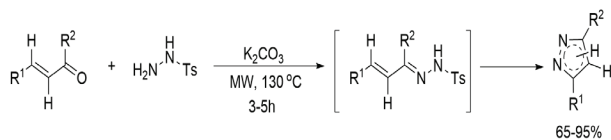
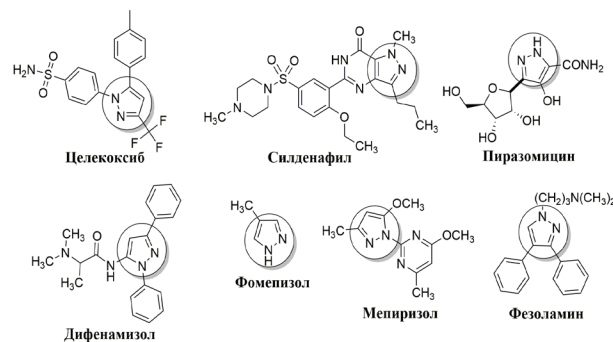


Схема 8. Синтеза пиразола помоћу микроталасног озрачивања.

МЕДИЦИНСКИ ЗНАЧАЈ ПИРАЗОЛСКИХ ДЕРИВАТА

Чињеница да деривати пиразола испољавају широк дијапазон биолошких активности инспирисала је научнике да озбиљно приступе њиховим синтезама. Прва документована сазнања о биоактивностима пи-

разола датирају из 19. века када је откривена способност пиразолских деривата да инхибирају ензим алкохол-деhidрогеназу, на основу чега се сматрало да се могу употребити за лечење алкохолизма, а такође, и код тровања метанолом.[36] Пиразоли су током деценија истраживања заузели важну позицију у дизајну лекова. Пиразолска јединица сврстана је међу најчесталије структурне мотиве лекова мале молекулске масе. О њиховом доприносу фармацији и медицини сведоче бројни комерцијални лекови, а неки од њих приказани су на Слици 4.[37]



Слика 4. Комерцијално доступни лекови који садрже пиразолску јединицу.

Целекоксиб је нестероидни антиинфламаторни лек који се најчешће употребљава у терапији остеоартритиса и реуматоидног артритиса. Познат је и под комерцијалним називом *Celebrex*. Механизам дејства овог лека огледа се у селективној инхибицији COX-2 форме ензима циклооксигеназе, која је нарочито изражена у ћелијама које су у процесима инфламације. Оно по чему се целекоксиб издваја од других инхибитора јесте то што је високо селективан ка COX-2 форми ензима, док се према COX-1 форми не понаша као инхибитор, што је од изузетне важности с обзиром на то да је COX-1 присутна у здравим ћелијама и да регулише нормално функционисање појединих органа.[38,39]

Силденафил, познатији по трговачком називу *Viagra*, је такође један од знаменитијих представника класе лекова са пиразолским структурним мотивом који се примењује за лечење еректилне дисфункције чиме је и стекао светску популарност. Група научника је установила да се коришћењем силденафила значајно продужава животни век цвећа у вазама, а такође, ефекат презервације је уочен и применом на различитим врстама воћа и поврћа.[40-42]

Пиразомицин је антибиотик који има примену као антитуморски лек. Изолован је ферментацијом из бактерије *Streptomyces candidus*, а показао је и *in vitro* антифунгалну активност. Такође, испољио је активност против бројних вируса попут вируса вакциније, *herpes simplex* вируса, морбила и рино вируса.[43]

Дифенамизол представља аналгетски лек који је испитивањем дејства на пацовима показао и умирујућа својства.[44]

Фомепизол представља инхибитор алкохол-деhidрогеназе и као лек се употребљава у случајевима

тровања метанолом и етилен гликолом.[45,46]

Мепиризол представља антиинфламаторни лек који је показао инхибиторна својства код желудачних лезија пацова изазваних киселином, као и смањење чира на желуцу.[47]

Фезоламин представља антидепресивни лек који је код људи испољио минималне антихолинергичке, седативне и кардиоваскуларне нежељене реакције у поређењу са осталим антидепресивима.[48]

Поред наведених комерцијално доступних лекова постоји и велики број пиразолских деривата који испољавају широк спектар биолошких активности, који као такви представљају потенцијалне лекове. На Схеми 9 су представљене структуре одабраних биоактивних пиразолских деривата.[24,31]

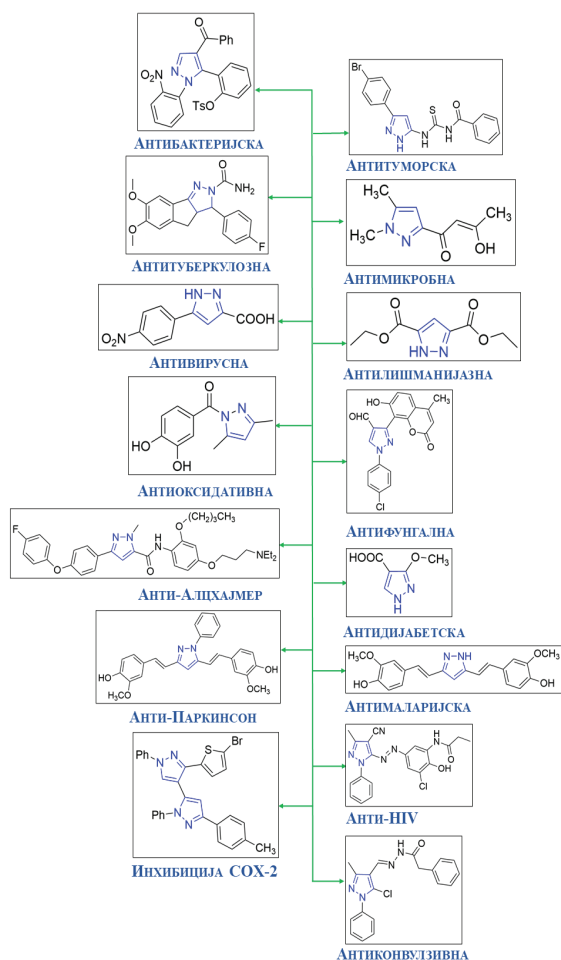


Схема 9. Биоактивности пиразолских деривата.

ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду чињеницу да се пиразолски деривати ретко налазе у природним изворима, заинтересованост научника за њиховом синтезом је одавно присутна. Поред бројних конвенционалних метода за синтезу пиразолских деривата, у последње време научници све више теже примени еколошки прихватљивих метода које су засноване на принципима зелене хемије. Многобројни радови (међу којима је и

велики број ревијалних радова) указују на значај пиразолских деривата који поседују широк спектар биолошких активности. Из тог разлога, многи деривати пиразола су већ комерцијално доступни лекови, али постоји и велики број пиразолских деривата који су кандидати за примену у терапеутске сврхе.

ABSTRACT

PYRAZOLE DERIVATIVES: GREEN SYNTHESIS AND MEDICINAL SIGNIFICANCE

VESNA M. MILOVANOVIĆ, JOVICA BRANKOVIĆ
University of Kragujevac, Faculty of Science

Pyrazole was synthesized for the first time in 1883 by German chemist Ludwig Knorr, in an attempt to synthesize quinoline derivative with antipyretic properties. The new heterocyclic compound was named pyrazole since it is derived from pyrrole by replacing one carbon atom with nitrogen. Also, the compound was named Antipyrine since it expressed an antipyretic effect. Later, various pyrazole derivatives that expressed medically significant activities were synthesized. Many commercially available drugs contain pyrazole unit, such as celecoxib, sildenafil, and pyrazomycin. Among numerous methodologies for the synthesis of pyrazole derivatives, the most significant are those based on green chemistry principles.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] L. Knorr, A. Blank, Berichte Der Dtsch. Chem. Gesellschaft 17 (1884) 2049–2052.
- [2] K. Brune, Acute Pain 1 (1997) 33–40.
- [3] J.C. Castillo, J. Portilla, Targets Heterocycl. Syst. 22 (2018) 194–223.
- [4] A. Ansari, A. Ali, M. Asif, S. Shamsuzzaman, New J. Chem. 41 (2017) 16–41.
- [5] J.V. Faria, P.F. Vegi, A.G.C. Miguita, M.S. dos Santos, N. Boechat, A.M.R. Bernardino, Bioorg. Med. Chem. 25 (2017) 5891–5903.
- [6] P.T. Anastas, J.C. Warner, Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, 1998.
- [7] P. Anastas, N. Eghbali, Chem. Soc. Rev. 39 (2010) 301–312.
- [8] U.M. Lindström, Chem. Rev. 102 (2002) 2751–2772.
- [9] A. V. Dolzhenko, A. V. Dolzhenko, in: Green Synth. Approaches Biol. Relev. Heterocycles, Elsevier, 2015, pp. 101–139.
- [10] J.H. Clark, Pure Appl. Chem. 73 (2001) 103–111.
- [11] S. Sanjay Makone, S. Nivruttirao Niwadange, Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol. 3 (2016) 113–115.
- [12] A. Aggarwal, N.L. Lancaster, A.R. Sethi, T. Welton, Green Chem. 4 (2002) 517–520.
- [13] S.G. Zlotin, N.N. Makhova, Mendeleev Commun. 20 (2010) 63–71.
- [14] D. Simijonović, Z.D. Petrović, V.P. Petrović, J. Mol. Liq. 179 (2013) 98–103.
- [15] Y. Gu, Green Chem. 14 (2012) 2091.

- [16] G. Brahmachari, M. Mandal, I. Karmakar, K. Nurjamal, B. Mandal, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 7 (2019) 6369–6380.
- [17] R. Mekheimer, M. Al-Sheikh, H. Medrasi, N. Alsofyani, *Molecules* 23 (2018) 619.
- [18] S.C. Shetty, V.C. Bhagat, *Asian J. Chem.* 20 (2008) 5037–5045.
- [19] E. Hernández-Vázquez, R. Aguayo-Ortiz, J.J. Ramírez-Espinosa, S. Estrada-Soto, F. Hernández-Luis, *Eur. J. Med. Chem.* 69 (2013) 10–21.
- [20] M. Abdel-Aziz, G.E.-D.A. Abuo-Rahma, A.A. Hassan, *Eur. J. Med. Chem.* 44 (2009) 3480–3487.
- [21] U. Pandit, A. Dodiya, *Med. Chem. Res.* 22 (2013) 3364–3371.
- [22] N.M.M. Hamada, E.M. Sharshira, *Molecules* 16 (2011) 2304–2312.
- [23] M.J. Ahsan, K. Choudhary, S.S. Jadav, S. Yasmin, M.Y. Ansari, R. Sreenivasulu, *Med. Chem. Res.* 24 (2015) 4166–4180.
- [24] K. Karrouchi, S. Radi, Y. Ramli, J. Taoufik, Y. Mabkhot, F. Al-aizari, M. Ansar, *Molecules* 23 (2018) 134.
- [25] B.A. Bhat, S.C. Puri, M.A. Qurishi, K.L. Dhar, G.N. Qazi, *Synth. Commun.* 35 (2005) 1135–1142.
- [26] S. Ponnala, D. Prasad Sahu, *Synth. Commun.* 36 (2006) 2189–2194.
- [27] S. He, L. Chen, Y.-N. Niu, L.-Y. Wu, Y.-M. Liang, *Tetrahedron Lett.* 50 (2009) 2443–2445.
- [28] F. Gosselin, P. O’Shea, R. Webster, R. Reamer, R. Tillyer, E. Grabowski, *Synlett* 2006 (2006) 3267–3270.
- [29] V. Milovanović, Z.D. Petrović, S. Novaković, G.A. Bogdanović, D. Simijonović, V.P. Petrović, *J. Mol. Struct.* 1195 (2019) 85–94.
- [30] Z.-L. Min, Q. Zhang, X. Hong, X.-L. Cao, X.-M. Hu, *Asian J. Chem.* 27 (2015) 3205–3207.
- [31] V. Milovanović, Z.D. Petrović, S. Novaković, G.A. Bogdanović, D. Simijonović, M. Mladenović, J. Branković, V.P. Petrović, *Med. Chem. (Los. Angeles)*. 16 (2020) 1–12.
- [32] D. Simijonović, Z.D. Petrović, V.M. Milovanović, V.P. Petrović, G.A. Bogdanović, *RSC Adv.* 8 (2018) 16663–16673.
- [33] N. Kerru, L. Gummidi, S.V.H.S. Bhaskaruni, S.N. Maddila, S.B. Jonnalagadda, *Res. Chem. Intermed.* 46 (2020) 3067–3083.
- [34] X.-B. Zhao, S.-A. Jiang, N. Wang, H.-F. Yu, *Synth. Commun.* 50 (2020) 3404–3412.
- [35] A. Corradi, C. Leonelli, A. Rizzuti, R. Rosa, P. Veronesi, R. Grandi, S. Baldassari, C. Villa, *Molecules* 12(2007)1482-1495.
- [36] F.K. Keter, J. Darkwa, *BioMetals* 25 (2012) 9–21.
- [37] M.F. Khan, M.M. Alam, G. Verma, W. Akhtar, M. Akhter, M. Shaquiquzzaman, *Eur. J. Med. Chem.* 120 (2016) 170–201.
- [38] A. Palomer, F. Cabré, J. Pascual, J. Campos, M. A. Trujillo, A. Entrena, M. A. Gallo, L. García, D. Mauleón, A. Espinosa, *J. Med. Chem.* 45(2002)1402-1411.
- [39] Ş.G. Küçükgülzel, S. Şenkardeş, *Eur. J. Med. Chem.* 97 (2015) 786–815.
- [40] M. Simiele, D. Pensi, D. Pasero, F. Ivaldi, M. Rinaldi, G. Di Perri, V.M. Ranieri, A. D’Avolio, *J. Chromatogr. B* 1001 (2015) 35–40.
- [41] D. Ozbeyli, A.G. Gokalp, T. Koral, O.Y. Ocal, B. Dogan, D. Akakin, M. Yuksel, O. Kasimay, *Physiol. Behav.* 151 (2015) 230–237.
- [42] J. Siegel-Itzkovich, *BMJ* 319 (1999) 274–274.
- [43] M.J. Sweeney, F.A. Davis, G.E. Gutowski, R.L. Hamili, D.H. Hoffman, G.A. Poore, *Cancer Res.* 33 (1973) 2619–2623.
- [44] K. TSUTOMU, N. TOSHITAKA, *Neuropharmacology* 17 (1978) 249–256.
- [45] K.J. Lepik, A.R. Levy, B.G. Sobolev, R.A. Pursell, C.R. DeWitt, G.D. Erhardt, J.R. Kennedy, D.E. Daws, J.L. Brignall, *Ann. Emerg. Med.* 53 (2009) 439-450. e10.
- [46] M. Sande, D. Thompson, A.A. Monte, *Am. J. Emerg. Med.* 30 (2012) 262.e3-262.e5.
- [47] K. Kobayashi, S. Chono, H. Yamada, *Gastroenterol. Jpn.* 15 (1980) 427–432.
- [48] S. Zisook, J. Mendels, D. Janowsky, J. Feighner, J.C.M. Lee, A. Fritz, *Neuropsychobiology* 17 (1987) 133–138.



Јована РАДУЛОВИЋ^{1,2} (jovanaradulovic@outlook.com)

Ференц КИШ¹ (fkiss@uns.ac.rs)

Милан ТОМИЋ³ (milan.tomic@polj.uns.ac.rs)

Наташа БУРИШИЋ-МЛАДЕНОВИЋ¹ (natasa.mladenovic@uns.ac.rs)

¹Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, Нови Сад

²Linglong International Europe d.o.o, Зрењанин

³Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад

ОТПАДНА ЈЕСТИВА УЉА КАО СИРОВИНЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОГОРИВА

С обзиром на неогновљиво порекло фосилних горива, укључујући и нафту као основну сировину за производњу течних горива незаменљивих у саобраћају, поједино је изнаћи одговарајуће, одрживе алтернативе које поред превазилажења проблема исцрпљења конвенционалних извора енергије нуде решења за смањење енергетске зависности држава које не располажу значајним резервама фосилних горива, као и у борби са глобалним климатским променама. Искористићење енергетске вредности отпадних материјала представља један од начина диверзификације извора енергије на светском, регионалном и/или локалном нивоу, истовремено умањујући негативне последице одлагања отпада. Отпадна јестива уља (ОЈУ) представљају значајан енергетски извор, с обзиром на њихову велику енергетску вредност, као и савремену количину, узимајући у обзир да се количина јестивих уља у исхрани неминовно повећава са порастом броја становника и/или животињског стандарда. С друге стране, уколико се не врши њихово контролисано сакупљање, одлагање и/или поновно коришћење, ОЈУ представљају опасан отпад, који може значајно нарушити квалитет животне средине. Да би се искористила као течна горива у моторима са унутрашњим сагоревањем, ОЈУ се морају прерадити, тј. прерадити у једињења која су по својим особинама слична конвенционалним течним горивима, како би се могла користити намешана са постојећим горивом или самостално уз евентуално минималне модификације инфраструктуре (тј. система транспорта, складиштења, коришћења). У раду су представљене карактеристике ОЈУ, процена количина које настају у свету и код нас, начини сакупљања, као и процени њихове конверзије у биогорива – алтернативна горива обновљивог порекла са применом у саобраћају.

ОТПАДНА ЈЕСТИВА УЉА

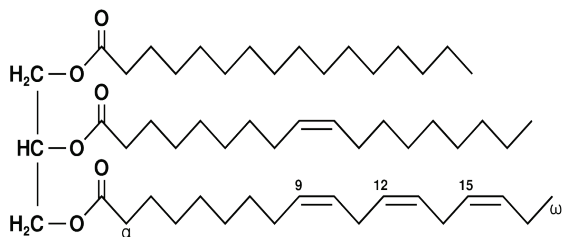
Отпадна јестива уља (ОЈУ) представљају искоришћена јестива уља која се одбацују, тј. одлажу након коришћења у фази припреме хране (најчешће пржењем или печењем). У ужем смислу, у складу са Правилником о условима, начину и поступку управљања отпадним уљима (Службени гласник РС 71/2010), под изразом „отпадно јестиво уље“ подразумева се „свако уље које настаје обављањем угоститељске и туристичке делатности, у индустрији, трговини и другим сличним делатностима у којима се припрема више од 50 obroka дневно“. Дакле, Правилник овом дефиницијом обухвата само уља која настају активношћу правних лица или предузетника, али не и она која потичу из домаћинства, с обзиром да овај други извор за сада не потпада под успостављен

систем управљања отпадним уљима код нас. У научно-стручној литератури поред назива „отпадна јестива уља“ може се наћи и израз „искоришћена јестива уља“ (у енглеској литератури јављају се називи waste cooking oil, waste frying oil, used cooking oil ili waste edible oil); важно је нагласити да постоји термилошка разлика у односу на појам „отпадна уља“ под којим се према горе спомнутом Правилнику подразумевају само минерална или синтетичка уља или мазива.

Пракса коришћења ОЈУ у припреми сточне хране је забрањена (у ЕУ од 2002. [1]) како би се спречило увођење токсичних једињења у ланац исхране, попут диоксида и полицикличних ароматичних угљоводоника која могу настати током вишеструког коришћења ОЈУ [2]. Такође је забрањено одлагање (просипање) ОЈУ у канализациони систем, због проблема које оваква пракса изазива у цевима и постројењима за обраду отпадних вода и/или у погледу загађења водотокова. Међутим, веома је тешко контролисати да ли се оваква пракса спроводи нарочито у случају домаћинства, али неретко проблеми зачепљења канализационих цеви указују да она постоји.

С обзиром да се одговарајућа припрема хране одвија обично на температурама 160-200°C током одређеног периода у присуству ваздуха и светлости [3], квалитет отпадног уља је другачији од полазних јестивих уља, јер при овим условима долази до хемијских реакција између једињења присутних у самом уљу, првенствено триглицерида (триацилглицерола - основна једињења биљних уља и животињских масноћа, слика 1), као и до реакција ових једињења са присутном водом у намирницама и кисеоником из ваздуха; ове реакције се могу сврстати у следеће групе реакција деградације [4,5]:

- хидролиза присутних триглицерида изазвана водом присутном у храни која се пржи; на овај начин се из триглицерида постепено ослобађају слободне масне киселине (СМК), уз издвајање моноглицерида, диглицерида и/или глицерина,
- оксидација присутних једињења у присуству кисеоника из ваздуха уз настајање оксигенованих моно-, ди- и олигомерних триглицерида, као и испарљивих једињења попут алдехида и кетона (хексанал, пентан, 2,4-декадиенал, пентанол, итд.),
- полимеризација под дејством повишене температуре доводи до стварања неполарних ди- и олигомера, као и поли-триглицерида са прстенастом структуром.



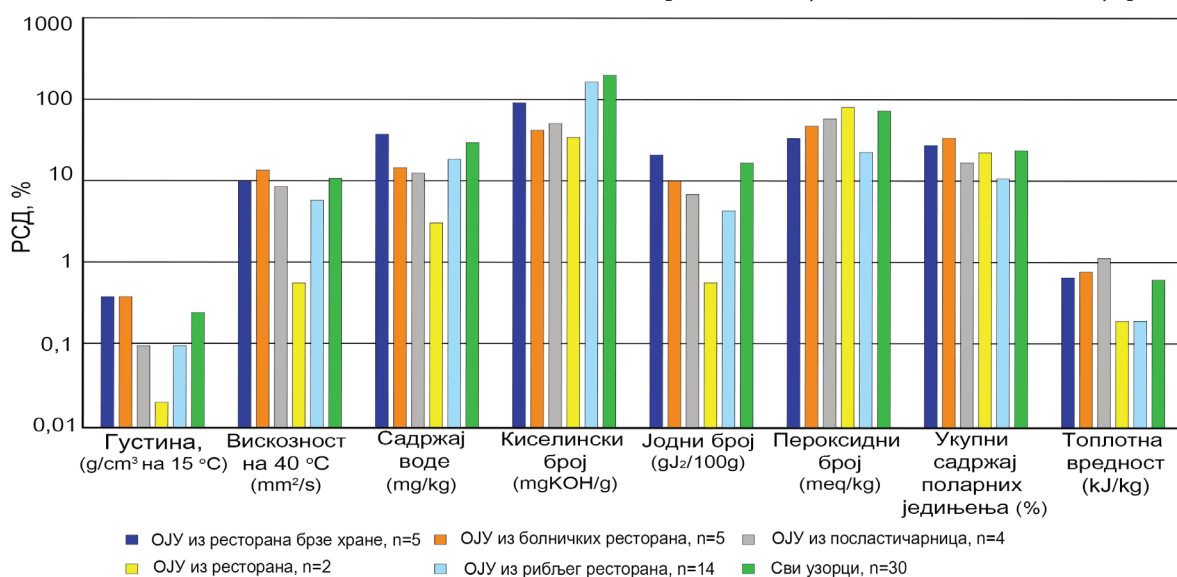
Слика 1. Структура триглицерида (триацилглицерола) – основних конституената биљних уља и животињских масти представљена на примеру „мешовито“ трглициерида C₅₅H₉₈O₆: део структуре са леве стране представља остатак трохидроксилног алкохола глицерола, док су везани остаци виших масних киселина са десне стране (од горе на доле) и то палмитинске, олеинске и линоленске (аутор слике Волфганг Шефер (Wolfgang Schaefer), Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=116421>)

Услед наведених реакција деградације састава полазних уља, тј. присутних триглицерида, долази до бројних промена њихових физичких и хемијских карактеристика укључујући повећање вискозности, садржаја СМК (тј. киселинског броја), полимеризованих триглицерида, таложне материје, укупног садржаја поларних једињења (ТПМ), као и снижења тачке паљења и садржаја незасићених једињења (тј. смањења једног броја -индикатора степена укупне незасићености). Уколико се процес пржења настави, уље се све више деградира и у једном моменту се добија уље које није погодно за пржење те се мора одстранити. Уља коришћена под различитим условима (на различитим температурама током различитог времена пржења, у различитим судовима (на пример, фритезама, тигањима, и др.) за припрему различитих намирница) значајно се разликују по физичким и хемијским особинама; као илустрација могућих разлика, на слици 2 је представљена релативна стандардна девијација, РСД, вредности одређених карак-

теристика ОЈУ сакупљених у ресторанима у којима се припремају различите врсте намирница, а које су представљене у раду [6]. Велике вредности РСД указују на значајну променљивост одређених параметара у једној групи уља. У свим групама уља утврђена је РСД преко 35% за киселински број, са највећим РСД добијеним за ОЈУ из ресторана брзе хране и рибљих ресторана. Велике вредности РСД су добијене и у односу на пероксидни број који указује на присуство хидропероксида као производа примарне оксидације, који као веома реактивна једињења брзо реагују и дају стабилније секундарне производе оксидације попут органских киселина, алдехида, полимерних једињења, итд. Топлотна вредност и густина ОЈУ не одступају значајно у оквиру једне групе испитиваних узорака, нити између различитих група. Иначе, у поређењу са топлотном вредношћу дизел горива (око 43 MJ/kg), топлотна вредност ОЈУ (око 35 MJ/kg) је за око 20% мања.

ПРОЦЕНЕ КОЛИЧИНЕ ОЈУ

Да би се сагледале могућности искоришћења ОЈУ, потребно је познавати расположиве количине које се на економски прихватљив начин могу сакупити у једној регији/држави. У земљама са дужом традицијом сакупљања ОЈУ, статистички подаци у вези прикупљених количина су лако доступни. Количине ОЈУ које настају у одређеним земљама света, приказане у табели 1 [7]. Количина ОЈУ која се сакупе у ЕУ годишње износи 5,6-7,2 kg по становнику, при чему је удео који одговара ОЈУ из домаћинства око 49% укупних насталих количина ОЈУ [8]. Према подацима из студије [9], по становнику се годишње може добити око 4,1 kg ОЈУ. Ако се узме да данас у свету има око 7 милијарди људи, то значи да настане око 29 милиона тона ОЈУ годишње. Ипак, количина ОЈУ која настаје у свакој држави зависи од навика становништва и учешћа биљних уља у исхрани, при чему су количине из угоститељског сектора (тзв. ХОРЕКА (HORECA) сектора) оне до којих се може доћи лакше и јефтиније,



Слика 2. Илустрација променљивости карактеристика отпадног јестивог уља из различитих ресторана: релативне стандардне девијације (РСД) израчунате као процентуални однос стандардне девијације и средње вредности карактеристика ОЈУ из различитих ресторана одређених у раду [6]

Табела 1. Количина ОЈУ у одређеним земљама [7,8,10,11]

Земља	Количина (милион тона/год.)
Кина	4,5
Малезија	0,5
Сједињене Америчке Државе	10,0
Тајван	0,07
Европа	0,7-10
Велика Британија	0,2
Канада	0,12
Јапан	0,45-0,57
Ирска	0,153
Италија	0,26
Шпанија	0,34
Грчка	0,05
Португал	0,043-0,065

него до ОЈУ из домаћинства, због развијенијих система сакупљања; у Европи је ефикасност сакупљања ОЈУ из домаћинства веома мала због одсуства добро организоване мреже сакупљања [8].

Процењене количине ОЈУ у Италији су око 26000 тона годишње, што би значило да се по становнику ствара 4,3 kg ОЈУ, при чему око 36% настаје у ХОРЕКА сектору и прехранбеној индустрији, а остатак (64%, тј. 2,8 kg) у домаћинствима; овлашћени сакупљачи су у току 2017. године успели да сакупе 72000 тона ОЈУ, тј. само 27% укупно процењене количине [10]. У Шпанији се од укупно процењене количине ОЈУ сакупи око 36% (122500 тона) годишње, при чему готово сва количина (94%) потиче из ХОРЕКА сектора и прехранбене индустрије [10]

Просечне количине ОЈУ у Грчкој према проценама из 2015. године од стране грчког Министарства околине и енергије износе 5 kg по становнику, што представља укупну количину ОЈУ од 55200 тона годишње у Грчкој [8]. На слици 3 су приказане количине ОЈУ које су сакупљене у Грчкој и укупно у 28 земаља чланица Европске Уније (ЕУ-28) у периоду 2009-2014. Растући тренд сакупљених количина је последица увођења директиве о обновљивим изворима енергије 2009. године (РЕД (RED) Директива 2009/28/ЕЦ), коју су државе чланице ЕУ постепено усвајале, затим повећања ефикасности система за сакупљање ОЈУ, али и све већи удео увоза ОЈУ из других земаља као што су Сједињене Америчке Државе, Кина, Индонезија и Аргентина [8].

У прегледном раду [12], процењене су доступне количине ОЈУ из ХОРЕКА сектора у Индији на основу полазне претпоставке да се 10% од укупне потрошње јестивог уља у овој земљи (16,7 милиона тона) конзумира у хотелима и ресторанима, а да се применом адекватних мера, 70% од те количине ОЈУ може сакупити. Процена количине ОЈУ у Бразилу извршена у раду [13], заснива се на податку о потрошњи јестивог уља по домаћинству од око 7 kg јестивог уља годишње и укупном броју домаћинства у земљи (57320555), а уз претпоставку о максималном губитку од 18% услед апсорпције уља у намирницама које се термички обрађују; израчунато је да количина ОЈУ која настају у Бразилу износи око

329020 тона годишње [13].

У Србији не постоје званични подаци о количинама ОЈУ, које се сакупе из ресторана и других сличних објеката у којима се услужно припрема храна, као и из прехранбене индустрије, у складу са обавезом сакупљања од 2012., већ само приближне процене базиране на различитим претпоставкама. Сакупљање ОЈУ из домаћинства није регулисано домаћим законодавством; проблем сакупљања ОЈУ из домаћинства се јавља и у развијенијим земљама, првенствено због проблема како остварити што јефтинији процес сакупљања и транспорта у складу са специфичностима насељених зона.

У недостатку података о потенцијалним количинама ОЈУ, груба процена количина ОЈУ може се добити ако се претпостави да 40-50% јестивог уља употребљеног за припрему хране се утроши у услужној делатности и индустрији, а остатак у домаћинствима, при чему се 50% упије у храну, те се добија да 20-25% од укупне потрошње јестивог уља представља ОЈУ из ХОРЕКА сектора [14]. Уколико се претпостави постојање развијеног система рециклаже ОЈУ из домаћинства, сличне количине би се могле прикупити и из овог сектора, те би укупно 40-50% од потрошње јестивог уља у једној земљи представљало (максималне, вероватно прецењене) количине ОЈУ које би се могле сакупити.

Ако се крене од податка да се у Србији годишње произведе око 85 000 тона јестивог уља, то значи да се из ХОРЕКА сектора и индустрије може сакупити 17000-21250 тона ОЈУ годишње и исто толико из домаћинства [15], што би значило 4,9-6,1 kg ОЈУ по становнику (према подацима Републичког завода за статистику (<http://www.stat.gov.rs>) број становника Србије без Косова и Метохије за јануар 2019. износи 6963764 становника), а то приближно одговара количини процењеној за ЕУ. Међутим, према информацијама добијеним у анкети са представницима откупљивача ОЈУ у Србији [15], количина стварно сакупљеног ОЈУ из ХОРЕКА сектора и прехранбене индустрије је много мања него процене засноване на претпоставкама да се четвртина произведеног јестивог уља може сакупити у виду ОЈУ. Наиме, резултат спроведене анкете је показао да се у Србији го-

дишње може сакупити око 5000 тона ОЈУ из ХОРЕКА сектора, што представља око 5% од укупне потрошње јестивог уља, тј. 0,7 kg ОЈУ по становнику [15].

Количине ОЈУ које се сакупе у Србији су око два пута веће од количина ОЈУ сакупљеног у Хрватској током 2009. године од 2145 тона [5], тј. 0,3 kg по становнику. Количина ОЈУ која се сакупи у Аустрији само из домаћинства је 1 kg по становнику годишње (након имплементације инфраструктуре за сакупљање), док је потрошња јестивог уља око 20 kg по глави [16] Претпостављајући исту пропорционалност између потрошње јестивог уља и сакупљених количина ОЈУ из домаћинства по становнику годишње у Аустрији, количине ОЈУ које би се могле сакупити из домаћинства у Србији достигле би вредност од 0,6 kg по становнику годишње (ако се претпостави да је годишња потрошња једнака годишњој производњи јестивих уља од 85000 тона, тј. да је годишња потрошња јестивог уља око 12 kg по становнику), што је готово једнако количини која се сакупи из сектора правних лица (0,7 kg/становник). Нека истраживања у Хрватској показују да у тој држави сваки становник ствара око 2 kg ОЈУ (<https://www.dnevno.hr/vijesti/hrvatska/kamo-sa-uljem-nakon-rucka-jednostavno-prodajte-ga-62896/>), што ако се примени код нас, претпостављајући сличан начин исхране ова два суседна народа, значи да око 14000 тона ОЈУ настаје у Србији.

Један од могућих приступа у процени количине ОЈУ у једној држави, базира се на брзини урбанизације [17]:

$$WOFt = Pt (1 + Ut/100)Wt$$

где је WOFt количина ОЈУ која се може сакупити током године t, Pt је број становника у години t, Ut је брзина урбанизације, а Wt је количина ОЈУ по становнику. Из ове једначине произилази да се са повећањем брзине урбанизације, што се може повезати и са повећањем животног стандарда, може очекивати повећање потрошње јестивог уља што би даље довело до повећања доступних количина ОЈУ. Уколико се у овај израз уврсти податак о брзини урбанизације за Србију за период 2015-2020. од -0,07% (податак доступан на адреси https://en.wikipedia.org/wiki/Urbanization_by_country, а на основу података CIA World Factbook with estimates from 2018), произилази да су количине ОЈУ које се могу сакупити годишње од 4871 тона до 50104 тона претпостављајући количине ОЈУ у опсегу 0,7-7,2 kg по глави становника (тј. од вредности засноване на количини која се стварно сакупи у Србији из ХОРЕКА сектора, до максималне вредности из ли-

тературе претходно споменуте за ЕУ); уколико брзина урбанизације настави да опада, произилази да се може очекивати и смањење расположивих ОЈУ доступних за сакупљање.

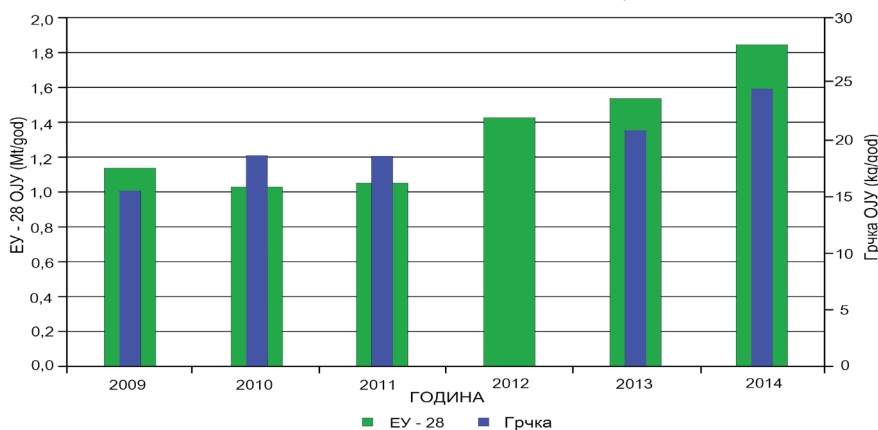
СИСТЕМИ САКУПЉАЊА ОЈУ

Да би се искористиле што веће количине насталих ОЈУ, потребно је развити ефикасне системе сакупљања. У ЕУ-28 ефикасност сакупљања ОЈУ се повећава од 2012. (слика 3); у 2014. ефикасност рециклаже ОЈУ је износила 51% у ЕУ-28, док је, на пример, у Грчкој била око 31% (слика 3) [8].

Ипак, знајући да се значајан део јестивих уља користи у домаћинствима, јасно је да се проценат ефикасности сакупљања ОЈУ може значајно повећати само укључивањем ОЈУ из сектора домаћинства. У одређеним земљама допринос домаћинства у укупним количинама насталог ОЈУ је чак већи од 50%, на пример, 62% у Португалу [11], 64% у Италији [10]. Међутим, за сада је укупна ефикасност сакупљања ОЈУ из домаћинства прилично ниска, што се приписује великим трошковима сакупљања. У стамбеним зонама углавном не постоје места за сакупљање ОЈУ чак и тамо где су развијене активности рециклаже и сепарације отпада.

Сакупљање се може организовати по шеми децентрализованог и централизованог сакупљања. Децентрализовано сакупљање (или сакупљање „од врата до врата“) је применљиво у случају објеката са великом количином ОЈУ, као што су на пример ресторани, док централизовани систем подразумева сакупљање ОЈУ од већег броја мањих „произвођача“ ОЈУ, на пример, из домаћинства. Могу се успоставити ланци (мреже) сакупљања уређени на различите начине, па тако могу постојати сакупљачи ОЈУ на местима њиховог настајања (примарни сакупљачи), који могу даље достављати ОЈУ другим („секундарним“) сакупљачима или директно у постројења за прераду (на пример, за производњу биодизела или сапуна). У табели 2 су приказане предности и недостаци децентрализованог и централизованог система сакупљања.

При избору адекватног начина сакупљања ОЈУ у једном региону, потребно је идентификовати кључне факторе који утичу на ефикасније сакупљање ОЈУ, узимајући у обзир и што мањи утицај на животну средину изабраног модела сакупљања. Наиме, неколико студија које су



Слика 3. Сакупљена количина ОЈУ у Грчкој и ЕУ-28 у периоду 2009-2014. [8]

Табела 2. Предности и недостаци система сакупљања ОЈУ [8]

Систем сакупљања	Предности	Недостаци
Децентрализовано („од врата до врата“)	-применљивије код великих „произвођача“ ОЈУ -директна веза између сакупљача и „произвођача“ ОЈУ омогућава едукацију „произвођача“ о начину сакупљања	-висока цена сакупљања када се примењује код малих „произвођача“ ОЈУ -учесталост сакупљања зависи од „произвођача“ ОЈУ
Централизовано (јавна места за сакупљање)	-јефтиније сакупљање у случају малих „произвођача“ ОЈУ -стандардизована учесталост сакупљања	-мања контрола квалитета и количине ОЈУ -сакупљачка места изложена криминалним радњама (крађа, вандализам) -неопходно је прихватање/одобрење постављања сакупљачких места од стране грађана

се бавиле оценом животног циклуса различитих система сакупљања ОЈУ су указала на широк опсег њихових могућих утицаја на животну средину исказаних преко емисије гасова са ефектом стаклене баште (тј. преко еквивалентног садржаја угљеник(IV)-оксида), и то од 7% (0,7 g емитованих гасова са ефектом стаклене баште током сакупљања у односу на укупну емисију целог процеса производње биодизела од ОЈУ од 10 g CO₂eq/MJ биодизела) до чак око 50% (8 g емитовано током сакупљања у односу на укупну емисију од 17 g CO₂eq/MJ биодизела) [11]. Два најзначајнија фактора од којих зависи у којој мери изабрани процес сакупљања утиче на укупну емисију ових гасова у процесу производње биогорива (биодизела) су ефикасност сакупљања ОЈУ (исказана, на пример, преко количине у литрама сакупљеног ОЈУ по километру пређеног пута возила које се користи при сакупљању) и карактеристике система за сакупљање („од врата до врата“ или „збирни контејнер“): утврђено је да мања ефикасност, карактеристична за модел сакупљања „од врата до врата“ из домаћинства, доприноси значајнијем утицају фазе сакупљања на укупну емисију из целокупног процеса производње биодизела; ипак, укупна емисија при производњи биодизела од ОЈУ је мања него у случају производње биодизела од рафинисаних јестивих биљних уља [11].

У нашем окружењу, успешан пример сакупљања ОЈУ дала је мађарска нафтна компанија МОЛ (MOL). Ова компанија је 2011. године у сарадњи са једном компанијом специјализованом за сектор биоенергије („BiofilterKft“) покренула иницијативу за рециклажу ОЈУ на око 100 пумпи за гориво у Мађарској, при чему је ова мрежа места за сакупљање проширена до краја 2014. године на 230 локација у три земље – Мађарској, Румунији и Словачкој [8]. Само у 2014. години, МОЛ је успео да сакупи 162 тоне ОЈУ из успостављене мреже од 230 пумпи за горива што у просеку одговара 704 kg (око 783 литара) по месту сакупљања. Већина сакупљеног ОЈУ (82%, тј. 132 тоне) потиче са 178 пумпи у Мађарској, док су преостала сакупљачка места у Словачкој и Румунији. С обзиром да је број становника у Мађарској око 10 милиона, а процењена годишња производња ОЈУ 53500 тона годишње (5,3 kg по становнику), при чему је око 60% из домаћинства, постигнута је ефикасност сакупљања преко мреже пумпи компаније МОЛ 0,4%. Да би се поспешила ова иницијатива, компанија МОЛ је водила неколико промотивних кампања за сакупљање ОЈУ од стране грађана, кроз које су додељиване разне награде учесницима. Осим тога, свим учесницима су додељене боце за вишекратну употребу за сакупљање,

складиштење и транспорт уља до бензинских пумпи са логом компаније. Слично, хрватска нафтна компанија ИНА је такође започела са иницијативом сакупљања ОЈУ широм Хрватске, са мрежом од 29 пумпи за горива (9 у Загребу) на којима се може одложити профилтрирано ОЈУ из домаћинства сакупљено у боце (<https://www.ina.hr/odrzeni-razvoj/zastita-okolisa/odlaganje-otpadnog-jestivog-ulja/13144>).

БИОГОРИВА

Потрошња течних горива нафтног порекла, првенствено бензина и дизела, доминира у сектору транспорта, а очекује се да тако остане и после 2030. године, при чему се очекује раст потражње за сировом нафтом од 1% годишње у наредној деценији, управо због пораста потражње за горивима у транспортном сектору [18]. Иако се очекује да ће се број електричних возила повећати чак 100 пута до 2035. год., њихов удео у укупном броју возила ће споро расти с обзиром на укупни пораст броја возила у свету [19]; при томе, постоје многи проблеми које је потребно успешно решити како би електрична возила добила већи значај (на пример, ултра брзо пуњење и продужење рока трајања батерија, одлагање великог броја искоришћених батерија, итд.). Могућност коришћења горивних ћелија на бази водоника у возилима са електричним мотором захтева даља огромна улагања у развој овог система.

Да би се одговорило на стално повећање потреба за течним горивима, нарочито у транспорту, постоји неодољна потреба за развојем алтернативних горива, по могућности обновљивог порекла, и то првенствено супституената бензина и дизела, који ће по својим карактеристикама одговарати постојећим системима снабдевања и коришћења самостално или у виду смеша са постојећим традиционалним горивима. Од постојећих обновљивих извора енергије (ОИЕ; енергија Сунца, енергија ветра, геотермална енергије, енергија водених система, биомаса), једино биомаса може да се преведе у течна горива – биогорива, по особинама сличним или чак истим конвенционалним горивима [18].

У Европи, директива 2009/28/ЕЦ (тзв. директива о ОИЕ, енглеска скраћеница RED од Renewable Energy Directive) и директива 2009/30/ЕЦ (тзв. директива о квалитету горива, енглеска скраћеница FQD од Fuel Quality Directive) имале су одлучујући утицај на увођење биогорива у сектор транспорта и повећање њиховог удела током прошле деценије. Према најновијој директиви о ОИЕ из 2018., тзв. директиви RED II (2018/2001), подразу-

мева се даље повећање учешћа биогорива у саобраћају до 14% у 2030., након очекиваних 10% учешћа обновљивих горива у саобраћају до 2020. према првобитној директиви RED. Додатно, директива RED II обавезује увођење и постепено повећање удела тзв. напредних биогорива – биогорива од „нејестивих“ сировина (које немају примену у производњи хране) на 6,8% до 2030., уз истовремено смањење удела биогорива од гајених усева на 3,8%.

Према RED II директиви, на коју се ослања и Закон о коришћењу ОИЕ Републике Србије усвојен у марту 2021., биогорива представљају течна горива која се користе у саобраћају, произведена из биомасе. Биометан као гасовито гориво са наменом у саобраћају издвојено се разматра по овој директиви и Закону у односу на биогорива. Такође, биогорива се разликују од биотечности, које представљају течна горива произведена из биомасе са применом у енергетске сврхе (грејање, хлађење, производњу електричне енергије), али не и за саобраћај.

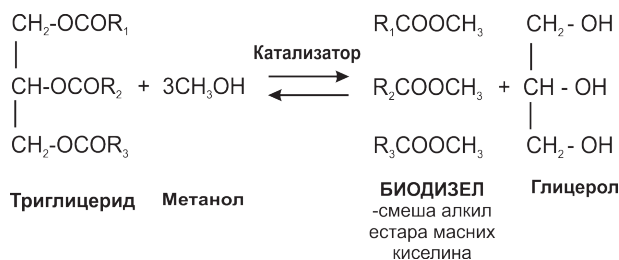
БИОГОРИВА НА БАЗИ ТРИГЛИЦЕРИДА

Биљна уља као гориво за дизел моторе, испитују се од почетка 20. века, међутим ова врста горива упркос релативно великој топлотној вредности није нашла даљу примену због низа недостатака, који су се појавили у току примене (на пример, велика вискозност, нестабилност услед присуства незасићених масних киселина), а такође и због експанзије примене јефтених нафтних деривата. Тек у другој половини 20. века обновљен је интерес за биљним уљима, заједно са другим алтернативним изворима енергије, као реакција на прве нафтне кризе у свету, током којих су се најразвијеније земље света суочиле са последицама своје зависности од увоза нафте са Блиског истока [18]. Испитивани су различити начини превазилажења познатих недостатака биљних уља при коришћењу у дизел моторима, као на пример, микроемулзификација, намешавање са дизел горивом и трансестерификација, при чему је једино трансестерификација заживела те сада представља добро развијени, конвенционални поступак добијања биодизела [20].

Биодизел је биогориво које се сматра основним обновљивим супституентом дизел горива. То је биоразградиво, нетокично гориво без једињења сумпора и аромата, произведено од липида биљног или животињског порекла [15,21]. Хемијски, биодизел представља смесу моноалкил (најчешће монометил) естара виших масних киселина (тј. метил естара масних киселина, МЕМК; на енглеском fatty acid methyl esters, FАМЕ). Добија се алкохолизом (трансестерификацијом) липидних сировина, обично у присуству катализатора (реакција 1).

Каталитичка трансестерификација може бити изведена у присуству база или киселина, било као хомогених или хетерогених катализатора; постоји могућност трансестерификације и у присуству биолошких катализатора – ензима (липаза), али још увек нема широку индустријску примену због високе цене ових катализатора и њихове нестабилности у присуству алкохола. Алтернатива каталитичкој трансестерификацији је трансестерификација у присуству метанола у суперкритичном стању, када се реакција између метанола и триглицерида одвија на високом притиску и температури, без прису-

ства катализатора; међутим, овај начин још увек нема индустријску примену [18,22].

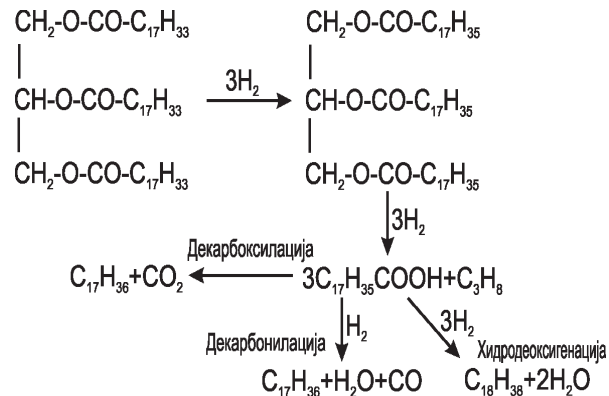


Реакција 1. Реакција трансестерификације (метанолизе) триглицерида – производња биодизела

За сада једино је хомогена базна трансестерификација добро развијени, комерцијализован поступак, који се користи за производњу биодизела широм света [20]. Данас постоји око 120 погона за производњу биодизела у ЕУ и то годишње око 1100000 тона; највећи број ових погона је у Немачкој, Италији, Аустрији, Француској и Шведској (<https://www.ebb-eu.org/biodiesel.php>). У Србији индустријска производња биодизела је кратко заживела у току 2007., када је произведено око 27000 тона биодизела од уљане репице [15], али без државних подстицаја ова производња није била економски прихватљива. Европски стандард ЕН590:2009, који се базира на европској директиви 98/70/ЕЦ за сада препознаје додатак од максимално 7 запр.% биодизела у смеси са дизелом (ознака за ову смесу је Б7; број у овим ознакама означава запремински процентуални удео биодизела у смеси са дизелом); сам биодизел који се користи за намешавање мора задовољити захтеве стандарда ЕН14214 (последња верзија овог стандард је из 2012.). Како би се стимулисало даље коришћење биодизела, Европски комитет за стандардизацију (ЦЕН) је недавно увео два нова стандарда ЕН16709:2015 (СРПС ЕН 16709:2016), којим су дефинисани параметри квалитета смеша дизела са већим садржајем биодизела, Б20 и Б30, и стандард ЕН16734:2016 (СРПС ЕН 16734:2017), којим се дефинишу захтеви и тест методе за Б10 смесу.

Триглицериди који су у основи биљних уља и животињских масноћа, па тако и у ОЈУ, хемијским путем могу се конвертовати и у угљоводонична биогорива састављена од алкана, као што су тзв. обновљиви („зелени“) дизел, обновљиви („зелени“) керозин или обновљиви („зелени“) бензин (препоручује се коришћење назива „обновљиви“, који указује да се ради о обновљивом пореклу горива, без алузије о самој природи горива, док префикс „зелени“ иако асоцира на обновљиво порекло сировине и утицај самог горива на смањење ефекта стаклене баште, може и погрешно да наведе да се ради о биоразградљивом гориву, што није случај, с обзиром на угљоводонични састав ових горива и потпуну мешљивост са конвенционалним горивима [23]). Конверзија триглицерида до угљоводоника се постиже хидрообработом (хидрогеновањем): реакцијом на повишеној температури у присуству водоника и катализатора (реакција 2) настају као главни производи алкани различите дужине ланца, који се даље уобичајеним поступцима у ра-

финеријама нафте прерађују ради издвајања различитих фракција (различитих опсега тачака кључања) чинећи један од обновљивих производа (на пример, обновљиви керозин) [18].



Реакција 2. Хидрогеновање триглицерида до алкана [24]

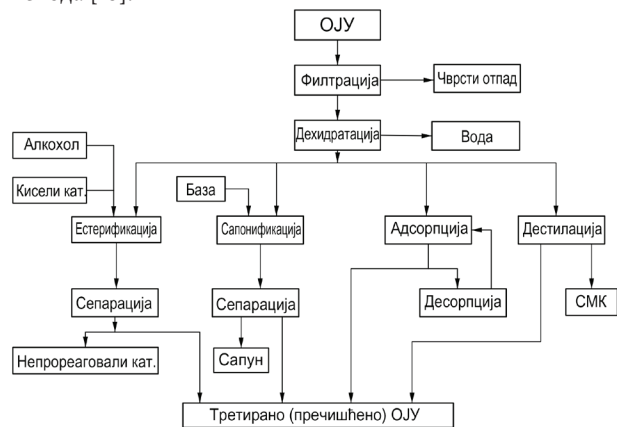
Добијени угљоводоници су слични оним у горивима произведеним у Фишер-Тропшовој (Fischer-Tropsch) синтези угљоводоника од угљеник(II)-оксида и водоника пореклом из синтезног гаса добијеног гасификацијом биомасе (угљоводонична горива добијена на овај начин су тзв. BtL (Biomass-to-Liquid) горива), угља (CtL (Coal-to-Liquid) горива) или природног гаса (GtL (Gas-to-Liquid) горива). Одобрена је употреба процеса хидрообrade биљних уља за добијање напредног авионског биогорива. Стандард ЕН 15940 усвојен 2016. (код нас усвојен 2017. као СРПС ЕН15940) дефинише квалитет синтетичког, парафинског дизел горива, добијеног хидрообradом триглицерида или Фишер-Тропшовом синтезом. Производња обновљивог дизела и авионског биогорива хидрообradом уља је тек од недавно комерцијализована; 2007. год. почело је са радом прво постројење компаније Несте Оилс (Neste Oil's) у рафинерији у граду Порво (Porvoo) у Финској. Производња ових горива у Европи је нарочито интензивирана од 2010. и достигла је 2,4 милијарде литара у 2016. [21].

Биодизел као смесу метил естара масних киселина треба разликовати од обновљивог дизела, који се такође производи од биљних уља, али потпуно другачијим поступком, те је и хемијски потпуно различит од биодизела [18]. Због тога, термилошки ова два појма, биодизел и обновљиви дизел не представљају синониме, и потребно их је користити правилно да би се избегла конфузија при навођењу одговарајућих, обновљивих алтернатива дизел гориву.

Главна предност ОЈУ као сировине за производњу биогорива у односу на рафинисана биљна уља, која имају примену у прехранбеној индустрији, управо је то што се ради о „нејестивим“ сировинама те се произведена горива сврставају у тзв. напредна биогорива, чија повећана употреба се очекује у складу са захтевима директиве RED II. Процењено је да се 90% сакупљеног ОЈУ у ЕУ користи у производњи биодизела, док се остатак примењује као сировина у олеохемијској индустрији [8]. Уколико се претпостави да се у Србији може сакупити из ХОРЕКА сектора око 17000-21250 тона годишње и да би се сва количина искористила за производњу биодизела (уз фактор конверзије 1,07 m³ биодизела по тони

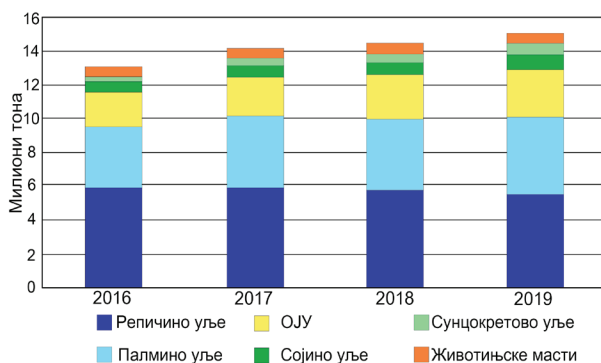
ОЈУ [8], обезбедило би се 18190-22767 m³ биодизела годишње, што представља количину енергије од 592266400 – 740333000 MJ (израчунато за средњу густину биодизела према стандарду ЕН14214 од 880 kg/m³, и топлотну вредност од 37 MJ/kg у складу са директивом RED), тј. око 1% годишњих енергетских потреба у саобраћају које се обезбеђују фосилним дизел горивом (годишње потрошње око 1,3 милиона тона).

Трансестерификација као процес производње биодизела од ОЈУ има предност над хидрообradом ОЈУ за добијање обновљивог дизела, јер представља комерцијализован поступак који може ефикасно да се води на температури око 60°C и амбијенталном притиску, за разлику од напредног поступка хидрообrade, који се одвија на високим температурама и притиску водоника; додатно, потребно је нагласити да је водоник који се користи у овој реакцији првенствено фосилног порекла, с обзиром на високу цену „зеленог“ (добијен електролизом воде уз коришћење енергије ветра или Сунца) и био-водоника (добијен термохемијском или биохемијском конверзијом биомасе) [25]. С друге стране, поступак хидрообrade није осетљив на квалитет сировине, док је пре базне хомогене трансестерификације потребно припремити ОЈУ, најчешће процесом киселинске естерификације ради смањења садржаја СМК, које имају негативан утицај на принос биодизела (могући процеси пречишћавања ОЈУ су илустровани на слици 4). Предност процеса хидротретмана уља ради добијања обновљивог дизела је што није осетљив на присуство СМК, за разлику од алкалне трансестерификације и добијања биодизела, те представља поступак значајан за искоришћења доступних отпадних уља различитог порекла. Масно киселински састав сировине не утиче на састав, па тако и особине крајњег производа (на пример, обновљивог дизела), већ само радни параметри (температура, притисак, катализатор) и примењени процеси обраде добијеног производа [18].



Слика 4. Могући начини пречишћавања ОЈУ [26]

Међутим, најновија сазнања говоре да повећање потражње за ОЈУ као сировине за напредна горива, доводи и до повећаног увоза ОЈУ у Европу (слика 5), и то се првенствено ради о увозу ОЈУ од палминог уља, чиме се индиректно утиче на повећање крчења шума у подручјима интензивног узгоја улане палме, као што су Малезија и Индонезија, утичући неповољно на степен одрживости оваквог биогорива.



Слика 5. Извор триглицерида за производњу биодизела у Европи [27]

Додатно, у последње време је, наизглед парадоксално, цена ОЈУ и биодизела од ОЈУ већа (чак и 40-65% у северним и западним деловима Европе пред крај 2019. и почетком 2020.) од рафинисаних уља и биодизела добијеног од њих, али разлог овоме се може наћи у чињеници да снабдевачи горивом могу као свој допринос циљевима постављеним најновијом легислативом о ОИЕ обрачунавати двоструко већу енергетску вредност уколико су горива произведена од ОЈУ [27]. Иако висока цена ОЈУ и горива од њих, као и „двоструко обрачунавање“ њихове енергетске вредности представља подстицај за даљи развој биогорива од ОЈУ, ово је такође довело и до негативних појава попут илегалне праксе намешавања рафинисаних уља са ОЈУ ради повећања количина ОЈУ за продају, што надаље захтева развој строжијих мера контроле порекла сировина [27].

ЗАКЉУЧАК

ОЈУ представљају значајну сировину за производњу напредних биогорива, како за друмски тако и за авио саобраћај, која омогућава диверзификацију енергетских извора, смањујући зависност од увоза фосилних горива, као и емисију гасова са ефектом стаклене баште. Да би се биогорива од ОЈУ користила, неопходно је: снажно промовисати рециклажу ОЈУ ради информисања јавности и повећања свести о важности сакупљања и искоришћења ОЈУ, анализирати најприхватљивије опције увођења система сакупљања ОЈУ у различитим секторима, како би се успоставили добро организовани, контролисани и ефикасни системи за сакупљање у складу са локалним специфичностима становништва и ХОРЕКА сектора, са минималним утицајем на животну средину, и увести обавезу као и подстицај за коришћење (намешавања) ових биогорива. С обзиром да у Србији постоји обавеза за сакупљања ОЈУ од правних лица и предузетника, постоји основа за могућност развоја напредних биогорива. Ипак, уколико у једној држави не постоји производња биогорива, као што је случај са Србијом, сакупљене количине ОЈУ представљају значајну сировину за олеохемијску индустрију или се могу извозити у земље са развијеном индустријом биогорива.

Zahvalnost. Rad je urađen kao deo aktivnosti u okviru programa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, brojevi ugovora 451-03-9/2021-14/200134 i 451-03-9/2021-14/200117.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kulkarni MG, Dalai AK. Waste cooking oil-an economical source for biodiesel: A review. *Ind Eng Chem Res* 2006;45:2901-13.
- [2] Tsai WT. Mandatory recycling of waste cooking oil from residential and commercial sectors in Taiwan. *Resources* 2019;8:38-48. <https://doi.org/10.3390/resources8010038>.
- [3] Đurišić-Mladenović N. Nejestiva i otpadna ulja u proizvodnji biogoriva. *Energija, Ekonomija, Ekologija*. 34. Međunarodna konferencija Društva energetičara, Zlatibor, 27-30.03.2018, 2018, str. 515-21.
- [4] Choe E, Min DB. Chemistry of deep-fat frying oils. *J Food Sci* 2007;72:R77-86. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x>.
- [5] Brdarić D, Kralik D, Zlatar V, Kukić S, Uranjek N, Jovičić D, et al. Otpadna jestiva ulja iz ugostiteljskih objekata skupine »Restorani«. *Agronomski glasnik* 2011;6:295-304.
- [6] Sanli H, Canakci M, Alptekin E. Characterization of waste frying oils obtained from different facilities. *World Renew. Energy Congr., Linköping, Sweden: 2011*, p. 479-85.
- [7] Math MC, Kumar SP, Chetty S V. Technologies for biodiesel production from used cooking oil - A review. *Energy Sustain Dev* 2010;14:339-45. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.08.001>.
- [8] Dimitropoulos V, Karasavva K. Business Plan for the Development of a Used Cooking Oil Collection System. School of Economics, Business Administration and Legal Studies, International Hellenic University, Thessaloniki, Greece, 2016.
- [9] Patil PD, Gude VG, Reddy HK, Muppaneni T, Deng S. Biodiesel production from waste cooking oil using sulfuric acid and microwave irradiation processes. *J Environ Prot (Irvine, Calif)* 2012;03:107-13. <https://doi.org/10.4236/jep.2012.31013>.
- [10] Ibanez J, Martín SM, Baldino S, Prandi C, Mannu A. European union legislation overview about used vegetable oils recycling: The Spanish and Italian case studies. *Processes* 2020;8:798. <https://doi.org/10.3390/pr8070798>.
- [11] Caldeira C, Queirós J, Noshadravan A, Freire F. Incorporating uncertainty in the life cycle assessment of biodiesel from waste cooking oil addressing different collection systems. *Resour Conserv Recycl* 2016;112:83-92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.005>.
- [12] Maddikeri GL, Pandit AB, Gogate PR. Intensification approaches for biodiesel synthesis from waste cooking oil: A review. *Ind Eng Chem Res* 2012;51:14610-28. <https://doi.org/10.1021/ie301675j>.
- [13] Mandolesi De Araújo CD, De Andrade CC, De Souza E Silva E, Dupas FA. Biodiesel production from used cooking oil: A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;27. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.014>.
- [14] Jurac Z. Optimiranje proizvodnje biodizela iz otpadnih jestivih ulja s obzirom na zahtjeve kvaliteta. Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka, Hrvatska, 2011.
- [15] Đurišić-Mladenović N, Kiss F, Škrbić B, Tomić M, Mičić R, Predojević Z. Current state of the biodiesel production and the indigenous feedstock potential in Serbia. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;81:280-91. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.059>.
- [16] Ortner ME, Müller W, Schneider I, Bockreis A. Environmental assessment of three different utilization paths of waste cooking oil from households. *Resour Conserv Recycl* 2016;106:59-67. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.007>.

- [17] Chen W, Wu F, Zhang J. Potential production of non-food biofuels in China. *Renew Energy* 2016;85:939–44. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.024>.
- [18] Đurišić-Mladenović N, Predojević Z. *Alternativna goriva*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad; 2021.
- [19] Rapiere R. IEA Projects a 75% Increase In Oil Prices By 2020. *Forbes-Energy*, Nov 30, 2016. <https://www.forbes.com/sites/rapiere/2016/11/30/iea-projects-a-75-increase-in-oil-prices-by-2020/#5b49ade37a67>.
- [20] Predojević Z. *Goriva iz biomase-bioetanol i biodizel*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet; 2010.
- [21] Đurišić-Mladenović N, Kiss F. Biofuels in Serbia: Current status and prospects. In: Janev I, editor. *Serbia Curr. Issues Challenges Areas Nat. Resour. Agric. Environ.*, Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, Inc.; 2019, p. 57–87.
- [22] Mičić RD, Tomić MD, Kiss FE, Nikolić-Djorić EB, Simikić M. Influence of reaction conditions and type of alcohol on biodiesel yields and process economics of supercritical transesterification. *Energy Convers Manag* 2014;86:717–26. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.06.052>.
- [23] Knothe G. Biodiesel and renewable diesel : A comparison q. *Prog Energy Combust Sci* 2010;36:364–73. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004>.
- [24] Sotelo-Boyás R, Trejo-Zárraga F, de Jesús Hernández-Loyo F. Hydroconversion of Triglycerides into Green Liquid Fuels. In: Karamé I, editor. *Hydrogenation*, IntechOpen; 2012, p. 187–216. <https://doi.org/10.5772/48710>.
- [25] Parthasarathy P, Narayanan KS. Hydrogen production from steam gasification of biomass: Influence of process parameters on hydrogen yield - a review. *Renew Energy* 2014;66:570–9. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.025> Review.
- [26] Dias JM, Alvim-Ferraz MCM, Almeida MF. Comparison of the performance of different homogeneous alkali catalysts during transesterification of waste and virgin oils and evaluation of biodiesel quality. *Fuel* 2008;87:3572–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.06.014>.
- [27] van Grinsven A, van den Toorn E, van der Veen R, Kampman B. *Used Cooking Oil (UCO) as biofuel feedstock in the EU*. Delft: CE Delft; 2020.

ABSTRACT

WASTE COOKING OILS AS FEEDSTOCK FOR BIOFUELS PRODUCTION

Jovana RADULOVIĆ (jovanaradulovic@outlook.com)

Ferenc KISS (fkiss@tf.ums.ac.rs)

Milan TOMIĆ (milan.tomic@polj.ums.ac.rs)

Nataša ĐURIŠIĆ-MLADENOVIĆ (natasa.mladenovic@ums.ac.rs)

Taking into account the non-renewable origin of fossil fuels, including crude oil as a basic feedstock for production of liquid fuel essential for transport, it is necessary to find sustainable alternatives for overcoming the problems of the inevitable exhausting of the conventional energy sources and the energy import dependance as well as the climate change problems related to the fossil fuels. Energy valorization of waste materials is one way for energy sources diversification on global, regional and/or local level, reducing simultaneously problems linked to waste disposal. Waste cooking oils (WCOs) are important source of energy concerning the high heating value and the increasing quantities as a consequence of the population increase and arising living standard. On the other hand, if WCOs are not collected, disposed and/or reused in controlled manner, they represent a hazardous waste that can impair quality of the environment. In order to be used as liquid fuels in internal combustion engines, WCOs have to be processed, i.e. converted into compounds similar to those in conventional liquid fuels, being usable as mixed with existing fuels or individually with at least a possible modification of the infrastructure (i.e. systems for the transport, storage, and application). This paper describes properties of WCOs, the collectable quantities in the world and here in Serbia, possible collection systems, as well as conversion pathways towards biofuels – alternative fuels of renewable origin with application in transportation.



ВЕСТИ *из* ШКОЛЕ
за



Стеван ЈОКИЋ, Љиљана ЈОКИЋ, пројекат Рука у тесту

Email: rukautestuo1@gmail.com

ПОДУЧАВАЊЕ ПРИРОДНИХ НАУКА НА ПРИМЕРИМА ИЗ ОДРЖИВОГ РАЗВОЈА И КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Подучавање природних наука у школи се обично реализује традиционалним, координисаним и интегралним моделом. Професори се осим са апстрактним проблемима у оквиру формалног образовања, суочавају и са комплексним проблемима из свакодневног живота који су ученицима доступни у оквиру неформалног и информалног образовања. Приказом реализације једноставних

експеримената из области одрживог развоја и климатских промена илустроваћемо могућности примене формалног образовања и чвршће сарадње професора природних наука, технологије и математике.

ИСТОРИЈСКИ ОСВРТ О ПОДУЧАВАЊУ НАУКА У ШКОЛИ

У овом историјском осврту приказано је неколико интересантних чињеница наведених у публикацији Француске академије наука и Француске технолошке академије, посвећеној односу науке и технологије [1]. Џон Дјуи (John Dewey, 1859-1962) је увео појам „лекције из ствари“, а касније, пошто су у школе увдене и науке као предмет, оне су постале познате као „лекције из науке, математике...“ или неког другог предмета. Уобичајено је, и данас, да ученици кажу ту лекцију нисам научио.

Америчка академија наука је, као одговор на лансирање сателита у Совјетском савезу 1957. године, реформисала образовни систем дајући предност активном научном образовању, стављајући акценат на експериментисање још у најранијем дечјем узрасту. Лион Ледерман (Leon Lederman, 1922-2018), нобеловац из физике, је дао свој допринос овој иницијативи радећи са децом у најсиромашнијим деловима Чикага.

Термин STEM¹ је уведен 2000-тих година, на иницијативу америчке Академије наука и постао је нека врста мере помоћу које се процењује вредност неког образовног система. Решавање актуелних глобалних проблема попут одрживог развоја, климатских промена, тренутне пандемије и других је могуће само повећаном интердисциплинарношћу уз укључивање и друштвених наука, што је довело до појаве термина STEAM (где је А ознака за „arts“ уметност).

Данас су се, у оквиру формалног образовања, јасно издвојила следећа три модела подучавања [2-3]: традиционално, координисано и интегрално. О прва два модела ће бити више речи у наставку. Интегрално подучавање подразумева да један професор, једне школске године, реализује све садржаје природних наука и технике, оствари чвршћу везу с професором математике, и тиме омогући ученицима да лакше схвате јединство научних дисциплина. Овај модел, бар код нас у Србији, није применљив јер професори бивају припремани само за једну, евентуално две научне дисциплине.



Слика 1. Ученици током наставе у учионици и наставе на даљину посредством рачунара

¹ Термин STEM је скраћеница од Science, Technology, Engineering and Mathematics - наука, технологија, инжењерство и математика. Наука: идеје о природи, потврђене емпиријском евиденцијом, настале током времена и у процесима у којима су те идеје биле генерисане. Технологија: системи, процеси и артефакти које стварају људска бића да би задовољила своје потребе или жеље. Инжењерство: систематски и интерактиван процес који уз коришћење научног знања дизајнира објекте и системе да би се остварила решења људских проблема. Математика: систематско изучавање модела и веза између квантитета, бројева, и простора представљених симболички у форми цифара и облика а потврђених логичком аргументацијом.

Професори су данас, независно од модела начина подучавања који примењују у школи, у оквиру формалног образовања, суочени и са могућностима које ученицима пружа неформално и информално образовање. Сва три поменута начина образовања, формално, неформално и информално дају допринос поштовању економије ученика и подстичу их да у суочавању с комплексним проблемима из свакодневног живота искористе и примене научни метод који је својствен свим наукама, и концепте карактеристичне за поједине науке.

ТРАДИЦИОНАЛНО ПОДУЧАВАЊЕ

Професори појединачних научних дисциплина приликом реализације наставе акценат стављају на садржаје за које су припремани на факултету. Веза између њих је веома слаба или уопште не постоји, јер изостаје кохерентност (услед коришћења различитог речника), а исте појмове свако представља на свој начин (што доводи до непотребног понављања). Успостављање кохерентности образовања се не потенцира, јер се акценат ставља, пре свега, на аквизицију знања и резонување помоћу појмова својствених свакој научној дисциплини. Ученик је, у овом начину подучавања, углавном прималац информација, а често га карактерише и одсуство пажње (Слика 1).

КООРДИНИСАНО ПОДУЧАВАЊЕ

Професори природних наука, технике, математике и информатике настоје да истакну, сваки на свој начин, везе које обједињују научне дисциплине, ослањајући се на објашњења дата у наставним програмима, као и на њихову сопствену културу. Те везе истиче постојање конвергентних тема као што су: енергија, животно окружење и одрживи развој, метеорологија и климатологија, здравље и сигурност, важност статистичког и информатичког начина мишљења при коришћењу научног погледа на свет. Конвергенција технологија укључује у овај процес и друге науке попут психологије али и уметности.

Ресурси који омогућују професорима да детаљније, теоријски и на примерима, упознају неке начине координисаног подучавања у оквиру STEM-а, као што су: истраживачки метод (IBSE- Inquiry-Based Science Education), практично интердисциплинарно подучавање, образовање за одрживи развој (ESD- Education for Sustainable Development), пројектна настава, интегрална настава, налазе се на сајту Рука у тесту, нашем YouTube каналу, књигама библиотеке Зрнца наука и експерименталним комплетима [4-7].

У наставку приказујемо неколико једноставних експеримената из области одрживог развоја и климатских промена који могу подстаћи ученике на самосталан рад, а професоре различитих научних дисциплина на координисану сарадњу.

Примери научној образовања из области одрживог развоја и климатских промена

На основу научних сазнања из природних наука, технике и технологије, професори у основној и средњој школи би могли да током подучавања ученика:

- експериментисањем покажу како се загађују подземне воде, па чак и артерски бунари из којих користимо воду за пиће,

- преусмере образовање, које се сада углавном ограничава на образовање о одрживом развоју, на образовање за одрживи развој. Ученицима би се тиме пружила могућност да сами, на конкретним примерима из свакодневног живота, примене и принцип 3R (reduce, reuse, recycle - штеди, поново употреби, рециклирај) (Слика 2). Тиме би се стварале могућности да школа ученицима пружи и одрживо образовање [8].



Слика 2. Животно окружење загађујемо, између осталог, издувним гасовима из аутомобила, паљењем биомаса у пољу, бацањем отпада на дивље депоније, бацањем расхондоване електронике и батерија, итд.

Модел којим приказујемо загађење чак и подземних акумулација вода

Истраживања у природним наукама показују да вода из атмосфере доспева у тло, а када достигне дубину од неколико метара постаје заштићена од поновног извлачења кореновим системом биљака и испаравањем [9]. Вода која уђе у тло а не испари служи за снабдевање подземних акумулација воде које ми, између осталог, користимо за добијање воде за пиће.

Конструкцијом модела о загађењу подземних вода [10] (Слика. 3) показујемо експериментално шта се дешава са загађеном водом коју неконтролисано бацамо у наше окружење. Воду обојену црвеном бојом сматрамо загађеном и из бокала је сипамо у флашу, у којој се налазе слојеви песка, ситног и крупног шљунка што представља модел слојева у земљи. Загађена вода пролази кроз поменуто слојеве и почиње да истиче кроз отворе које смо избушили при дну флаше где би требало да се налазе и подземне акумулације вода које користимо за пиће.



Слика 3. Модел слојева у земљи кроз које пролази загађена вода која стиже и до подземних акумулација воде

Овим моделом се на једноставан и очигледан начин приказује како неодговорним односом разних индустријских постројења, третирањем пољопривредног земљишта пестицидима, непромишљеним активностима човека и друштва долази до загађења, иначе ограничених, ресурса воде на земљи и под земљом.

Пример непосредној дојриноси одрживом развоју и посредственом инвентивности и креативности

Великом броју ученика и наставника је познато како човек трансформише супстанце с циљем да их искористи за своје потребе. На пример, прављење хлеба конзервирање сезонског воћа и поврћа [11-12], производња меда [13], прављење разних производа од млека [14], прављење разних теста [15].

У Србији и региону се и данас врло често у домаћинствима конзервира сезонско воће и поврће (Слика 4) па ученици имају могућност да непосредно учествују у инвентивним и креативним активностима у којима:

- користе знања из природних наука и технологије: осмоза [16], стерилизација судова, карактеристике заслађене или усољене средине, елиминисање воде кувањем, вакуумирање садржаја у теглама (смањује се количина присутног ваздуха...)

- користе воће и поврће из баште или оно које је произведено у локалној средини, као амбалажу користе тегле које су и раније употребљаване (принцип 3R), користе енергију биомасе што представља обновљив извор енергије, добијени производи се складиште без утrophка енергије, у подруму или остави у стану или кући, итд.

Ученици оваквим начином рада, поред развоја научног мишљења [17], дају и непосредно допринос одрживом развоју, односно стичу образовање за одрживи развој.

Професори природних наука и технологије заједничким радом, применом пројектне наставе, практичног интердисциплинарног подучавања у оквру STEM-а, својим искуством, инвентивношћу и креативношћу могу реализовати и низ других активности које ће допринети формирању научног критичког мишљења ученика.

Узроци климатских промена

Сваки ученик би током, и по завршетку основне и средње школе, требало да прави разлику између узрочно-последичне везе и корелација. Зато ћемо на конкретним примерима јасно раздвојити узроке и последице климатских промена [18].

Један од узрока климатских промена је природни ефекат стаклене баште који је објашњен и шематски приказан на Слици 5, док су на Сликама 6 и 7 приказани неки од начина прављења модела стаклене баште.

Једноставнији модел стаклене баште и алbedo ефекат [21] се може реализовати током сунчаног дана коришћењем листа беле и црне хартије (модел мора и земље), три једнака комада леда и стаклене чаше. Овај модел стаклене баште приказан је на Слици 7.

Овим једноставним експериментом ученик раздваја различите ефекте (алbedo и стаклена башта), развија компетенције посматрања и запажања, консултује литературу.

Други узрок климатских промена је човеков допринос ефекту стаклене баште (Слика 8) који је последица повећане емисије гасова ефекта стаклене баште, емитованих



Од пијаце до потрошача



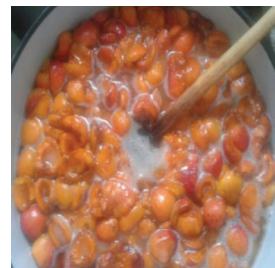
Прање воћа (кајсије)



Вађење коштица



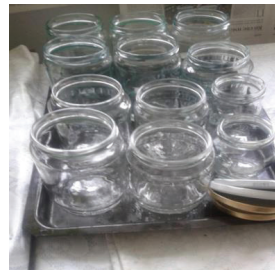
Кајсије у шећеру да би дошло до процеса осмозе



После 10 сати процесом осмозе је извучена вода из кајсија



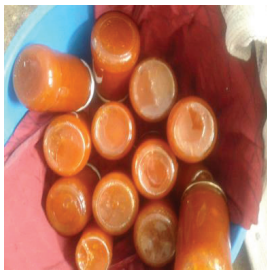
Добијени садржај се кува и тако елиминише вода



Употребљаване тегле се после прања стерилишу у топлој рерни



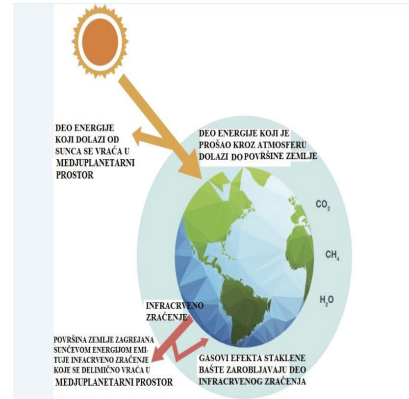
Скувани џем се полако сипа у вруће тегле да не би пукле



Напуњене тегле се обрну и постепеним хлађењем током 10-ак часова вакумирају

Слика 4. Главне фазе конзервације џема су: извлачење воде из ћелија кајсија процесом осмозе у заслаћеној средини, елиминација воде из ћелија кувањем, стерилизација тегли и поклопаца загревањем, елиминација одрђене количине ваздуха из тегли са џемом при чему се ствара нека врста вакуума

сагоревањем фосилних горива (нафта, угљ, природни гас) којих на планети Земљи има у ограниченим количинама, затим емисије метана, коришћења азотних ђубрива у пољопривреди, производње гасова који садрже флуор а користе се у расхладним уређајима, растварачима и разним спрејевима.



Слика 5. Шематски приказ природног ефекта стаклене баште [19]



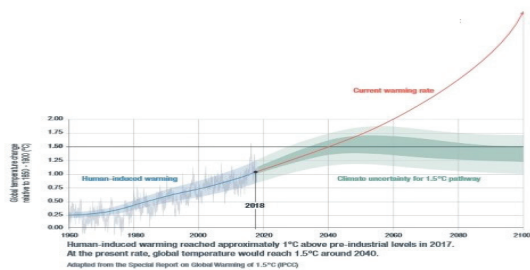
Модел стаклене баште: црна фолија, два мултиметра, сијалица, део боце покрива леву сонду мултиметра, десна сонда је стављена на фолију паралелно првој сонди.

Слика 6. Модел стаклене баште којим се показује да термометар, обасјан сијалицом која има улогу Сунца, испод пластичне боце (стаклена башта) показује вишу температуру него термометар ван боце који се налази на црној фолији (земља) [20]



Слика 7. Јасно се види да се лед више истопио на црној него на белој хартији (алbedo ефекат). Лед се под стакленом чашом (ефекат стаклене баште) више истопио него на белој хартији.

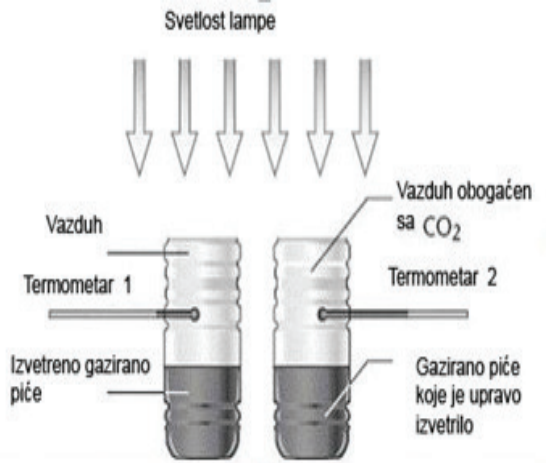
Човеков допринос глобалном загревању је у 2017. години за око 1 °C већи у односу на температуру у време почетка индустријске револуције. Ако се постојећи тренд настави човеков допринос би могао 2040. године да достигне 1,5 °C.



Слика 8. Глобална промена температуре у односу на период од 1850. до 1900. године [19]

Експеримент о улози повећања концентрације угљен-диоксида (гаса ефекта стаклене баште) у атмосфери

Сматра се да угљен-диоксид, који се ослобађа при сагоревању фосилних горива у енергетским и индустријским постројењима, највише доприноси глобалном загревању. Наставник може с ученицима да реализује експеримент који има за циљ да ову хипотезу потврди. Реализација експеримента је приказана у видеу [23], а на Слици 9 је дат шематски приказ експеримента.



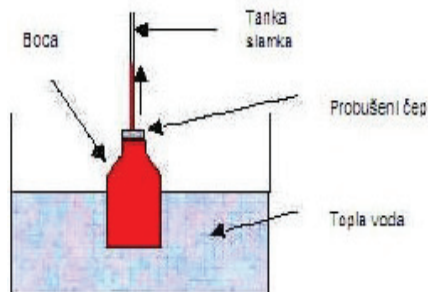
Слика 9. Шематски приказ експеримента у коме је десна флаша модел атмосфере обogaћене са CO₂, који је изветрио из кока-коле, па термометар 2 показује вишу температуру него термометар 1 у левој флаши која представља модел атмосфере без повећане концентрације CO₂. Сијалица има улогу Сунца [18].

Иако се експеримент сматра успешним, приликом евалуације резултата експеримента потребно је узети у обзир да поред ефекта стаклене баште, који је последица веће концентрације CO₂, улогу има и топлотни капацитет CO₂ који је различит од топлотног капацитета ваздуха. На нивоу атмосфере доминира ефекат стаклене баште, а код овог експеримента доминира ефекат специфичне топлоте. Ипак експериментом је показана улога CO₂ у вези климатских промена па се, с педагошког аспекта он сматра прихватљивим.

ПОВЕЋАЊЕ НИВОА МОРА КАО ПОСЛЕДИЦЕ КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Већини људи у свету је позната научна чињеница да се од 1993. године ниво мора и океана повећао за 8 cm, а предвиђа се да ће до 2100. године то повећање бити између 26 и 98 cm!

Објашњење-1 овог феномена се ослања на аргумент да се запремина воде повећава с повишењем температуре па ће се зато повећавати и ниво мора и океана као последица глобалног загревања. Шематски приказ експеримента о шрењу воде при повишењу температурае је дат на Слици 10, а реализација експеримента је приказан у видеу [24].



Слика 10. Суд са топлом водом представља глобално загревање, флашица напуњена водом обојеном у црвено представља воду на планети Земљи. Да би ширење воде било очигледно коришћена је сламка.

Дакле средња температура на планети Земљи, као што смо претходно показали, се повећала услед ефекта стаклене баште, а то је као једну од последицу имало повећање нивоа мора и океана, што се у овом експерименту приказује повећаним нивоом воде у сламки.

Објашњење-2: Индиректни утицај глобалног загревања на повећање нивоа мора и океана је последица албедо ефекта који је приказан експериментом на Слици 7. Наиме, односом рефлектоване и светлости која је пала на неку површину одређене боје, добија се тај број. То значи, да ако се на половима смањују количине снега и леда (беле површине) повећава се количина воде (тамне површине). Већа количина сунчеве светлости се апсорбује у води што као последицу има веће глобално загревање.

Експеримент о утицају боје тела на његово загревање, односно албедо ефекта, је приказан у видеу [25], а шематски приказ је дат на Слици 11.



Слика 11. Експеримент о утицају боје на температуру неког објекта (модел воде, снега, леда). Термометри су обавијени истим материјалом у различитим бојама.

У експерименту је модел снега представљен термометром који је обвијен с белом тканином, а модел воде, односно мора, је представљен термометром обавијеним с црном тканином. За исти временски интервал загревања

сијалицом, која има улогу Сунца, термометар с црном тканином показује вишу температуру од термометра с белом тканином.



Слика 12. Термичка инерција: модели континента - килограм земље (лево) и океана - литар воде (десно). Термометрима се мери и бележи температура пре и после хлађења у фрижидеру у интервалу од 20-30 минута.

На основу резултата експеримента може се закључити да се топљењем снега, ледених санити и глечера смањују беле површине на планети Земљи. Рефлектована количина енергије која се враћа у атмосферу је мања. Највећи део упадне енергије, који долази од Сунца, бива апсорбован тамним површинама, односно водом на планети која постаје све топлија, па се услед загревања шири, што као последицу има повећање нивоа мора и океана.

Термичка инерција и климатске промене

Разумевање климатских промена захтева познавање термина термичка инерција под којим се подразумева брзина изједначавања температуре неког објекта са температуром окружења. Познато је да се температура океана спорије мења од температуре континента!

Експеримент у вези термичке инерције је реализован у видеу [26], и приказан на Слици 12.

Температуре земље и воде су исте. Посматрамо како ће се оне мењати током њиховог загревања или хлађења. Могу се загревати на неком грејном телу или хладити у фрижидеру. На пример, у фрижидеру се, после 20-30 минута, температура воде смањила за 3 °C а земље за 7 °C. Дакле термичка инерција воде је знатно већа него земље.

Термичка инерција представља отпор неке супстанце промени температуре. Вода има велику термичку инерцију односно супротставља се промени температуре. То значи да вода, односно мора и океани апсорбују велику количину топлоте или енергије, пре него што се загреју, или ослобађају велику количину енергије пре него што се охладе. Ово својство се одражава на блаже промене климе у приобаљу: свежија лета и благе зиме. Промене температуре на континенту су знатне од сезоне до сезоне или током дана.

Дискусија: Поставља се питање како океан реагује на глобално загревање. Познато је да се од почетка индустријске револуције температура атмосфере повећала за око 1 °C, а површине океана за 0,6 °C, односно 90 % овог остатка енергије је складиштено у океанима а свега 1 % у атмосфери [19].

Питање: Пошто вода има велику термичку инерцију и у огромним је количинама на планети Земљи, поставља се питање шта би се десило ако би човек одлучио овог тренутка да престане да емитује гасове ефекта стаклене баште.

Одговор: Требало би да прође хиљаде година па да се океани охладе на температуру коју су имали пре почетка прве индустријске револуције, односно да им се температура смањи за 1 °C.

Професори природних наука, технике и технологије могу, за објашњење феномена термичке инерције, да користе појмове специфичне топлоте и топлотног капацитета неког материјала.

Експеримент о закисељавању океана и климатске промене

Експеримент пружа могућност професорима основне и средње средње школе, да уз непосредно ангажовање ученика, ученицима омогуће лакше разумевање последица које на живи свет има закисељавање океана и мора, посматрајући их са аспекта знања која су већ стекли из предмета: природа и друштво, хемија, биологија, физика, техника и технологија, итд.

Угљен-диоксид, као гас ефекта стаклене баште, поред доприноса глобалном загревању на планети Земљи, проузрокује и промену киселости мора и океана. Наиме, океани су, од почетка индустријске револуције, апсорбовали око 30 % угљен-диоксида, који је емитован као последица човекових активности. Хемијском реакцијом између угљен-диоксида и воде долази до формирања угљене (карбонатне) киселине. Дисоцијацијом угљене киселине настају позитивни јони водоника који допроне закисељавању океана, односно смањењу рН вредности којом се мери киселост неке средине.² Средња вредност рН је на глобалном нивоу смањена за око 0,1 јединицу од почетка индустријске револуције, а 2013. године је достигла вредност рН = 8,05. Познато је да чак и мало повећање киселости има последице по калцификацију морског света што се може показати посматрањем морских шкољки у растворима различите киселости.



Слика 13. Експеримент о закисељавању мора и океана: кућишта пужева после постављања у сирће бивају оштећена слично оштећењима морских шкољки услед повећане киселости воде у морима. Сок од црвеног купуса мења боју када се у њега сипају супстанце различите киселости.

Одређивање киселости средине може се урадити помоћу сока од црвеног купуса³ који додавањем сирћета

² Киселост неке средине се изражава помоћу рН вредности којом се мери концентрација јона водоника Н⁺. Неки раствор се сматра киселим ако му је рН < 7, неутралним ако је рН = 7, а базним ако је рН > 7.

³ Прављење сока од црвеног купуса: изрендани црвени купус се стави у неки суд а затим у замрзивач неколико сати. Ћелијски зидови црвеног купуса ће услед замрзавања попуцати и боја сока ће постати још

мења боју у пупурно црвену, док по додатку соде бикарбона боја раствора постаје плаво-зелена.

На Слици 13 су приказани резултати експеримента о закисељавању мора и океана.

У видеу [27] је приказана реализација претходног експеримента. Уместо шкољки су коришћена кућишта пужева да би се приказале последице закисељавања воде на калцификацију морског света, а за квалитативно одређивање киселости неке средине коришћен је сок од црвеног купуса. Експеримент је могуће реализовати и у најнеопремљенијој школи.

ЗАКЉУЧАК

Приказани експерименти илуструју неопходност веће координисане сарадње професора различитих научних дисциплина при реализацији експеримента о комплексним проблемима из свакодневног живота. Експерименти су конципирани тако да се могу реализовати коришћењем лако доступног материјала у свакој школи, уз максимално ангажовање ученика који би при реализацији експеримента требало да искористе стечена теоријска знања у оквиру формалног образовања.

ЛИТЕРАТУРА

1. Science et technologie à l'école primaire: un enjeu décisif pour l'avenir des futurs citoyens, Rapport de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies sur la pratique et la formation en science et technologie des professeurs de l'école primaire, Novembre 2020, УРЛ: https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/202011_science techno ecole primaire.pdf (06.04.2021.)
2. С. Јокић и Љ. Јокић, Традиционално и координисано подучавање наука, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=m-Ac3alavmk&t=9s> (06.04.2021.)
3. Веб документ: Превод са француског језика дат на сајту Рука у тесту УРЛ: http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/integralna/pdf/PRIKAZ_INTEGRALNO_OBRAZOVANJE.pdf (04.05.2021.)
4. Веб-сајт Рука у тесту, уредник С. Јокић, УРЛ: <http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/> (05.03.2021.)
5. YouTube, уредник С. Јокић <https://www.youtube.com/channel/UCPaLoxE6UM22Q8kMoeeygoQ>
6. Књиге: Библиотека Зрнца наука, коуредник и преводилац са француског језика С. Јокић <http://www.knjizara.zavod.co.rs/knjige/biblioteke/biblioteka-zrnca-nauka>
7. С. Јокић и Љ. Јокић, 15 комплета експерименталних кутија УРЛ: http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/?Page_Id=1203 (05.03.2021.)
8. EU- SUSTAIN, превео на српски језик Stevan Jokić, URL: http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/bdd_image/esd/hrana.pdf str.6-13, (10.01.2021.)
9. Zrnca nauka 3 (Kruženje vode u prirodi, str. 28-63), Zavod za udžbenike, Beograd 2004. УРЛ: <http://www.knjizara.zavod.co.rs/knjige/biblioteke/biblioteka-zrnca-nauka> (10.01.2021.)
10. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=Wb7MvP4vHeo&t=16s> (10.01.2021.)
11. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=y7gRi9nJPds&t=12s> (10.01.2021.)
12. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=ZkOb3RGka4w&t=119s> (10.01.2021.) i EU-

црвенија. На изрендани купус се сипа кључала вода, након чега вода постаје тамно љубичста. Затим се све стави у цеდიљку и процеди сок. Неупотребљени део сока се може ставити у замрзивач и користити када буде потребно.

- SUSTAIN, URL: http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/bdd_image/esd/hrana.pdf, str.54-67, (10.01.2021.)
13. EU- SUSTAIN, URL: http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/bdd_image/esd/hrana.pdf, str.33-53, (10.01.2021.)
 14. EU-SUSTAIN, URL: http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/bdd_image/esd/hrana.pdf, str.67-84, (10.01.2021.)
 15. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=p7LdTNOmD5o&t=3s> (10.01.2021.)
 16. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=iSNTcPVNeGM&t=7s> (10.01.2021.)
 17. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=UJoGvJ4Ild4> (10.01.2021.)
 18. Д. Вилжанбис, Н. Б-Масон, А. Шома, Клима моја планета ...и ја!, (превео на српски језик С. Јокић), Завод за уџбенике, Београд 2009, а може се користити и линк УРЛ: <http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/klima/nastavnici.htm> (10.01.2021.)
 19. Office for Climate Education IPCC Special Report "Global Warming of 1.5°C" - Summary for Teacher https://www.oce.global/sites/default/files/2019-04/ST1.5_final_040419.pdf
 20. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=vL71uddeIAk> (10.01.2021.)
 21. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: https://www.youtube.com/watch?v=1ye4MD_URcY (10.01.2021.)
 22. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=vL71uddeIAk> (10.01.2021.)
 23. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=Gsm85rNM6tY&t=55s> (10.01.2021.)
 24. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=WuUMYqUgyik> (10.01.2021.)
 25. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: https://www.youtube.com/watch?v=1ye4MD_URcY (07.03.2021.)
 26. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=HVQ1ha92E5c> (07.03.2021.)
 27. С. Јокић и Љ. Јокић, УРЛ: <https://www.youtube.com/watch?v=i3TCiRrIohM> (30.03.2021.)

ABSTRACT

Teaching natural sciences on examples from sustainable development and climate changes

Stevan Jokić, Ljiljana Jokić, project *La main à la pâte*

Science teaching is usually realized by traditional, coordinated and integrated models. In addition to abstract problems within formal education, teachers are also faced with complex problems from everyday life, which are available to students within non-formal and informal education. The possibility of applying formal education and stronger cooperation among professors of natural sciences, technology and mathematic is illustrated by the realization of simple experiments in domain of sustainable development and climate changes.