

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu

# Prva stručna konferencija

# KLIMATSKI NEUTRALNE TEHNOLOGIJE

u sklopu projekta *STEM Škola u prirodi*

## KNJIGA SAŽETAKA

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Marulićev trg 20  
Velika predavaonica „Vladimir Prelog“

8. - 10. veljače 2023.

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu

### Izdavač

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

### Glavne urednice

prof. dr. sc. Tatjana Gazivoda Kraljević i prof. dr. sc. Marijana Hranjec

### Tehnički urednik

prof. dr. sc. Marijana Hranjec

**ISBN:** 978-953-6470-97-6 (pdf)

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu

Prvu stručnu konferenciju ***Klimatski neutralne tehnologije*** zajednički organiziraju Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu i Gradski ured Crvenog križa Zagreb u okviru projekta *STEM Škola u prirodi* koji je financiran iz Europskog socijalnog fonda (ESF) u sklopu poziva „Jačanje kapaciteta organizacija civilnog društva za popularizaciju STEM-a“ (UP.04.2.1.10) u okviru Operativnog programa „Učinkoviti ljudski potencijali 2014.- 2020.“ Nakon predavanja koja će održati uvaženi stručnjaci i sveučilišni profesori u okviru konferencije bit će održane i radionice za djecu u svrhu popularizacije STEM područja. Na konferenciji očekujemo oko 100 sudionika, kemičara, kemijskih inženjera i ostalu zainteresiranu javnost sa sveučilišta, iz industrije i škola. Službeni jezik stručne konferencije je hrvatski.

S poštovanjem,



Prof. dr. sc. Tatjana Gazivoda Kraljević  
Predsjednica Organizacijskog odbora

## ORGANIZACIJSKI ODBOR

Prof. dr. sc. Tatjana Gazivoda Kraljević (predsjednica)

Prof. dr. sc. Marijana Hranjec

Prof. dr. sc. Tomislav Bolanča

Prof. dr. sc. Hrvoje Kušić

Nina Tenjer, mag. nov.

Mirko Martinuš, mag. ing. agr.



Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu

## SRIJEDA, 8. veljače 2023.

**9<sup>00</sup> - 9<sup>15</sup>** Petar Penava

### **PREDSTAVLJANJE PROJEKTA STEM ŠKOLA U PRIRODI**

Gradsko društvo Crvenog križa Zagreb

**9<sup>15</sup> - 10<sup>00</sup>** Prof. dr. sc. Ante Jukić

### **ZELENI VODIK – ENERGET SADAŠNOSTI I BUDUĆNOSTI**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**10<sup>00</sup> - 10<sup>45</sup>** Izv. prof. dr. sc. Fabio Faraguna

### **BIOMASA I BIOGORIVA KAO KLIMATSKI NEUTRALNE TEHNOLOGIJE**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**10<sup>45</sup> - 11<sup>15</sup>** Pauza za kavu (Klub nastavnika)

**11<sup>15</sup> - 12<sup>00</sup>** Prof. dr. sc. Zvjezdana Findrik Blažević

### **POTENCIJAL BIOTEHNOLOGIJE KAO KLIMATSKI NEUTRALNE TEHNOLOGIJE**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**12<sup>00</sup> - 12<sup>45</sup>** Doc. dr. sc. Martina Sudar

### **PRIRODNI KATALIZATORI ZA ODRŽIVI INDUSTRIJSKI RAZVOJ – ENZIMI**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**12<sup>45</sup> - 13<sup>30</sup>** Ručak

Klub nastavnika

**13<sup>30</sup> - 15<sup>30</sup>** Radionice za djecu

Klub nastavnika

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu

## ČETVRTAK, 9. veljače 2023.

**9<sup>00</sup> - 9<sup>45</sup> Izv. prof. dr. sc. Vilko Mandić**

**OKOLIŠNA NEUTRALNOST METODOLOGIJE PRIPRAVE  
NAPREDNIH TANKIH FILMOVA**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**9<sup>45</sup> - 10<sup>30</sup> Prof. dr. sc. Marijana Kraljić Roković**

**CINK-IONSKE BATERIJE TEMELJENE NA GRAFENSKOM PAPIRU**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**10<sup>30</sup> - 11<sup>00</sup> Pauza za kavu (Klub nastavnika)**

**11<sup>00</sup> - 11<sup>45</sup> Izv. prof. dr. sc. Ljerka Kratofil Krehula**

**RECIKLIRANJE POLIMERNOG OTPADA**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**11<sup>45</sup> - 12<sup>30</sup> Prof. dr. sc. Elvira Vidović**

**KLIMATSKI NEUTRALNE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNJI  
NAPREDNIH MATERIJALA**

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**12<sup>30</sup> - 13<sup>15</sup> Ručak**

Klub nastavnika

**13<sup>15</sup> - 15<sup>15</sup> Radionice za djecu**

Klub nastavnika

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu

## PETAK, 10. veljače 2023.

**9<sup>00</sup> - 9<sup>45</sup> Izv. prof. dr. sc. Dajana Kučić Grgić**

***ODRŽIVOST BIORAZGRADIVE PLASTIKE: NOVI PROBLEM ILI  
RJEŠENJE ZA GLOBALNO ONEČIŠĆENJE PLASTIKOM?***

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**9<sup>45</sup> - 10<sup>30</sup> Doc. dr. sc. Petar Kassal**

***INKJET ISPIS KAO ZELENA TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE  
ELEKTROKEMIJSKIH SENZORA***

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**10<sup>30</sup> - 11<sup>00</sup> Pauza za kavu**

Klub nastavnika

**11<sup>00</sup> - 11<sup>45</sup> Izv. prof. dr. sc. Igor Dejanović**

***ODRŽIVI PROCESI SEPARACIJE FLUIDA***

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

**11<sup>45</sup> - 12<sup>30</sup> Izv. prof. dr. sc. Maja Molnar**

***NEKI ASPEKTI ZELENE KEMIJE KAO DOPRINOS ZAŠТИTI OKOLIŠA -  
PRIMJENA U SINTEZI HETEROCIKLIČKIH SPOJEVA***

Prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera  
u Osijeku

**12<sup>30</sup> - 13<sup>15</sup> Ručak**

Klub nastavnika

**13<sup>15</sup> - 15<sup>15</sup> Radionice za djecu**

Klub nastavnika

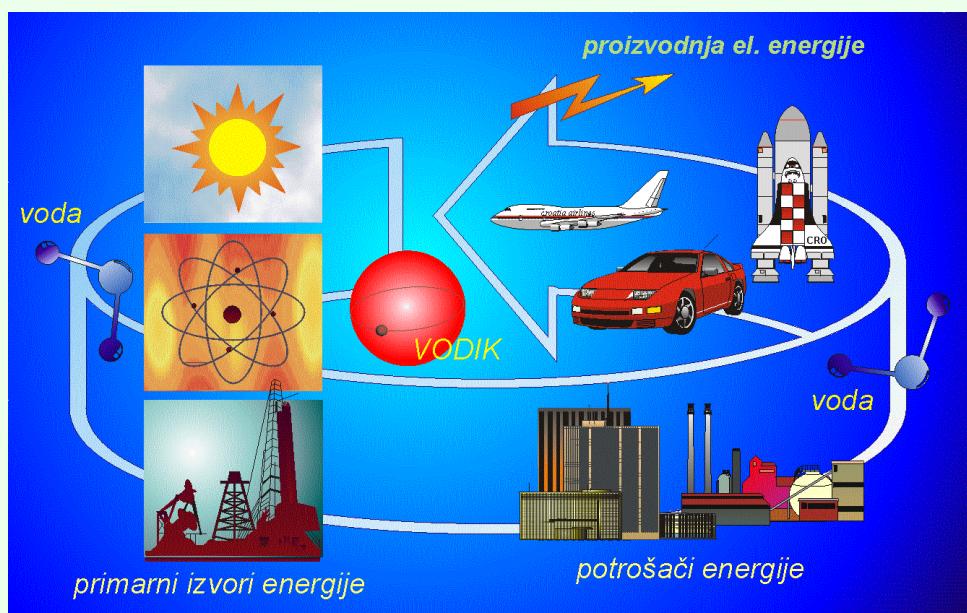
Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
 u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
 8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
 Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

## Zeleni vodik – emergent sadašnjosti i budućnosti

Ante Jukić

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
 e-mail: [ajukic@fkit.hr](mailto:ajukic@fkit.hr)

Zbog neželjenih klimatskih promjena, EU je prihvatiila cilj postizanja klimatske neutralnosti do 2050. godine. Politička predanost ovome cilju (EU Zeleni plan) biti će pretočena u obveze putem Europskih klimatskih zakona već u proračunskom razdoblju 2021.-2027. Postizanje klimatske neutralnosti zahtijevat će uključenost i djelovanje svih gospodarskih sektora, uz istaknute mјere ulaganja u ekološki prihvatljive tehnologije, podršku industriji za inovacije, uvođenje čistijih, jeftinijih i zdravijih oblika privatnog i javnog prijevoza, dekarbonizaciju energetskog sektora, osiguravanje energijske učinkovitosti zgrada. Svi dionici u zagađenju okoliša, osobito oni najveći poput energetike i kemijske industrije, biti će obvezni slijediti propisani put dekarbonizacije i održivosti sve do postizanja konačnog cilja. Pri tomu se kao emergent i konačno rješenje za zeleno gorivo ističe zeleni vodik koji se proizvodi pretežito elektrolizom vode ili u manjoj mjeri termolizom ugljikovodika, uz električnu energiju iz obnovljivih izvora. U isto vrijeme, zeleni vodik je i osnova za industrijsku proizvodnju zelenog amonijaka i drugih zelenih kemikalija. Izgaranjem vodika uz kisik ili zrak dobiva se voda, a elektrokemijska oksidacija vodika u gorivnim člancima (PEMFC, AFC, PAFC, SOFC) ima znatno veću energijsku učinkovitost i korisnost u odnosu na motore s unutarnjim izgaranjem i mnoge druge konverzija uređaje. Stoga se i uporaba vodika kao goriva sve više promiče i zastupa na tržištu – za pogon vlakova i tračnih vozila, brodova, pa i automobila. Sukladno tomu, promišlja se i izgrađuje zelene elektrane (pretežito solarne elektrane i vjetroelektrane) i pogone elektrolize, kao i nužnu infrastrukturu poput skladišta, cjevovoda i punionica vodika. U okviru izlaganja prikazat će se načini proizvodnje zelenog vodika, njegovo skladištenje i primjena.



**Slika 1. Uloga vode u proizvodnji i primjeni čiste energije**

(Jukić, Ante: Kinetika i mehanizam elektrokatalitičkog dobivanja vodika na Ni(Co)-Zr cirkonijevim metalnim staklima; magistarski rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2001)

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

## Biomasa i biogoriva kao klimatski neutralne tehnologije

Fabio Faraguna

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: [ffaraguna@fkit.hr](mailto:ffaraguna@fkit.hr)

Svjetska ekonomija se već desetljećima temelji na prekomjernom iskorištavanju prirodnih resursa, čime se narušavaju različiti prirodni ciklusi što dovode do neravnoteže u ekosustavu. Navedenom, osim industrijalizacije, doprinosi i povećanje broja stanovništva te sve veća energetska potrošnja pojedinca. Jedan od važnijih ciklusa koji je time doveden u neravnotežu je ciklus kruženja ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) te općenito stakleničkih plinova. Ugljikov dioksid ima značajan utjecaj na klimatske promjene, što je prepoznato u krugovima šire svjetske zajednice već 1997. godine (Kyoto protokol) te su trenutni ciljevi za smanjenje utjecaja na klimatske promjene dogovoreni 2015. godine (Pariški sporazum). U ovom izlaganju biti će dan kratak pregled klimatski neutralnih tehnologija u domeni ciklusa ugljikova dioksida s naglaskom na tehnologijama vezanim uz biomasu. U drugom dijelu predavanju bit će izložen pregled stanja udjela biomase u ukupnim energetskim potrošnjama, opis tehnologija proizvodnje biogoriva i dio rezultata vezanih uz razvoj biogoriva u sklopu istraživanja na projektu „Razvoj funkcionalnih biogoriva i (bio)aditiva te ispitivanje primjenskih svojstava mješavina s mineralnim gorivima“, koji se trenutno provodi na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu.



Slika 1. Izvori biomase

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
 u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
 8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
 Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

## Potencijal biotehnologije kao klimatski neutralne tehnologije

Zvjezdana Findrik Blažević

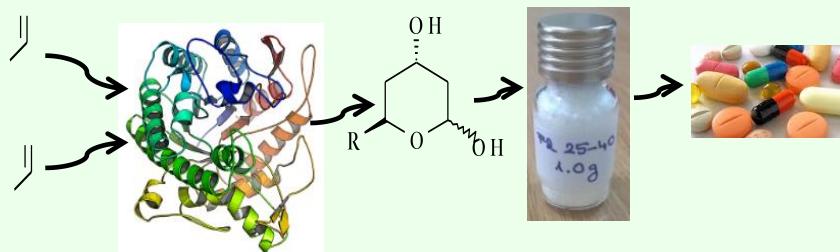
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
 e-mail: zfindrik@fkit.hr

Biotehnologija je vrlo stara tehnologija. Čovječanstvo ju koristi značajno dulje od razdoblja kada ju je počelo razumijevati. Od 19. stoljeća kada je otkriveno da se fermentacija odvija zbog enzima koji se nalaze u stanicama mikroorganizama, pa sve do danas, napravljeni su značajni iskoraci u razumijevanju procesa i svega što se događa u mikroorganizmima, ali i u razvoju naprednih tehnologija i tehnikama koje su omogućile dobivanje biokatalizatora s unaprjeđenim svojstvima i u velikim količinama<sup>1</sup>.

Priroda je od davnina uspješna u razvoju procesa na visokoj skali kojima rješava određene izazove u prirodi i kao takva nam može služiti kao nepresušan izvor inspiracije. Kao primjer možemo navesti fotosintezu kojom priroda neutralizira CO<sub>2</sub> stvarajući kisik. Ipak, aktivnost u tehnosferi je prevelika, pa količina otpada i stakleničkih plinova koje čovječanstvo generira rastu. Stoga priroda treba našu pomoći kroz razvoj tehnologija s minimalnim negativnim učinkom na okoliš.

Osim što se danas radi na razvoju enzima za razgradnju plastike, gdje je zabilježen značajan napredak, mnogo je i svjetlih primjera zamjene tradicionalnih kemijskih procesa biokatalitičkim procesima u industriji, a i novih procesa koji uključuju sintezu korisnih kemikalija poput lijekova (slika 1), polimera i biogoriva. Ovi su procesi bolji za okoliš, ekonomski su isplativi i troše manje energije jer se odvijaju pri blagim reakcijskim uvjetima.

Strategija biogospodarstva EU<sup>2</sup> jasno definira smjerove razvoja biotehnologije, a jedan od njih uključuje osnaživanje i uvećanje procesa u bio-sektoru. Također, prema Planu strateških inovacija i istraživanja<sup>3</sup> smatra se da bioindustrija treba raditi na inovativnim i obećavajućim tehnologijama i dizati ju na industrijsku razinu. Među tehnologijama se navode i industrijska biotehnologija i biokataliza.



**Slika 1.** Shematski prikaz biokatalize

<sup>1</sup> Editorial, Nature Catalysis 3 (2020) 179-180

<sup>2</sup> European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment: updated bioeconomy strategy, Publications Office, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/792130>

<sup>3</sup> European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) of the European Open Science Cloud (EOSC), Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/935288>

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

## Prirodni katalizatori za održivi industrijski razvoj – enzimi

Martina Sudar

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: [msudar@fkit.hr](mailto:msudar@fkit.hr)

Prijelaz na održivo gospodarstvo jedan je od glavnih izazova za naše društvo. U današnje vrijeme korištenje enzima za provedbu održivih procesa postaje sve važnije, a može se reći i da predstavlja jedan od ključnih način za postizanje zadanih Ciljeva održivog razvoja i implementaciju zelene kemije u industrijske procese s maksimalnim iskorištenjem resursa uz minimalno stvaranje otpada.<sup>1</sup> Još jedna velika prednost enzima je da se dobivaju iz jeftinih obnovljivih izvora što znači da su i sami biorazgradivi pa time ispunjavaju zahtjeve zelene kemije i održivog razvoja.

Bezbrojne kemijske transformacije koje se odvijaju u svakom životu organizmu omogućavaju proteini (enzimi) koji imaju katalitičku aktivnost za pretvorbu određenog skupa supstrata u specifične proizvode. Raznolikost potencijalnih enzima na raspolaganju za provedbu katalize je danas ogromna.<sup>2</sup> Izuzetnu selektivnost enzima moguće je primijeniti u laboratorijskom mjerilu za organske sinteze, ali isto tako i u većim razmjerima, za industrijsku primjenu. Enzimi se koriste za biokatalitičku proizvodnju novih, sigurnijih lijekova, ali također nalaze primjenu i u deterdžentima, kozmetičkoj i prehrambenoj industriji, za recikliranje otpadnih materijala, kao što je plastika, te za hvatanje ugljičnog dioksida. Iako danas postoje biokatalitički procesi u industrijskim razmjerima, biokatalitički procesi još uvijek nisu ispunili svoj puni potencijal. Potpuno iskorištanje enzima kao katalizatora u kemijskim procesima zahtijeva njihovu učinkovitu ekspresiju i metode proizvodnje koje će omogućiti da njihova dostupnost nije ograničavajući faktor njihove primjene. Drugi veliki problem industrijskih biokatalitičkih procesa su potrebni uvjeti koji se često jako razlikuju od uvjeta koje enzimi imaju u živim stanicama. Iz tog je razloga za postizanje željenih rezultata procesa potrebno posebno odabrati ili čak i modificirati odabrani biokatalizator.<sup>3</sup>

### Literatura:

1. Alcantara, A. R., Dominguez de Maria, P., Littlechild, J. A., Schurmann, M., Sheldon, R. A., Wohlgemuth, R., Biocatalysis as Key to Sustainable Industrial Chemistry, ChemSusChem **15** (2022) e202102709, doi: 10.1002/cssc.202102709.
2. Walsh, C., Enabling the Chemistry of Life, Nature **409** (2001) 226-31, doi: 10.1038/35051697.
3. Woodley, J. M., Protein Engineering of Enzymes for Process Applications, Curr. Opin. Chem. Biol. **17** (2013) 310-6, doi: 10.1016/j.cbpa.2013.03.017.



Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

## Okolišna neutralnost metodologije priprave naprednih tankih filmova

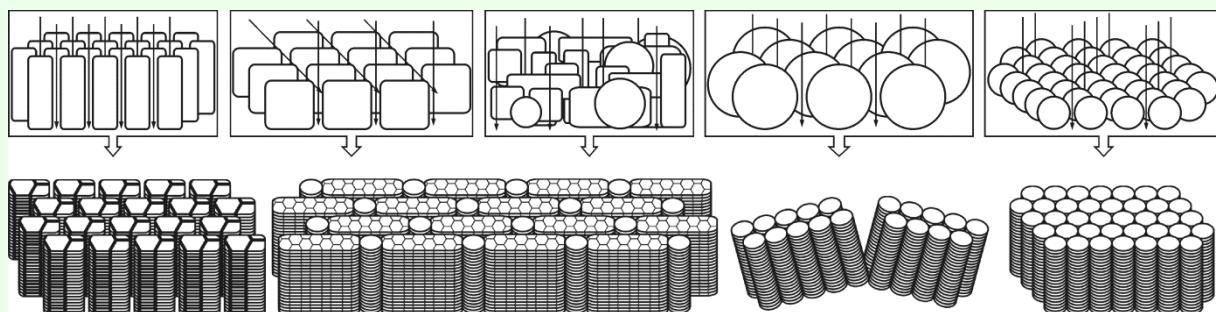
Vilko Mandić

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: [vmandic@fkit.hr](mailto:vmandic@fkit.hr)

Čovječanstvo traži neku razinu komocije i čini se da nije spremno odustati od iste. Međutim, već je duže vrijeme jasno da komocija sa sobom nosi neke posljedice. Stoga treba djelovati u kontekstu mijenjanja modela našeg djelovanja, prvenstveno po klimu i okoliš. Primarno se to odnosi na načine na koji generiramo energiju i načine na koji djelujemo s otpadom. Motivacija kod generiranja energije s jedne strane je potencijalna ograničenost izvora fosilnih goriva, a s druge strane je to mogućnost korištenja jedinog u potpunosti besplatnog izvora energije; Sunca. Za konverziju fotonskog zračenja Sunca potrebni su nam fotonaponski uređaji, tj. solarne ćelije.

Solarne ćelije su zapravo višeslojni kompozitni materijali koji omogućavaju konverziju fotonske energije u električnu. Silicijeve ćelije komercijalne su već pola stoljeća, međutim napredne solarne ćelije koje koriste tehnologije priprave nanomaterijala i tek su umjereni komercijalne. Naime, priprava nanomaterijala nije jednostavna; stoga se razvijaju i koriste metode koje mogu isporučiti određeno svojstvo, pri čemu ostali parametri, poput klimatske neutralnosti nisu prioritetni.

Ovo predavanje će proći kroz neke, zasad neizbjježne tehnike priprave tankih filmova, kroz alternativne tehnike, kao i kroz neke možebitno buduće tehnike. Osim samog tehničkog doprinosa pojedine metode, bit će komentirana okolišna neutralnost pojedine metode. Naime, relativno mala proizvodnja solarnih ćelija zasad se može smatrati klimatski neutralnom, međutim postavlja se pitanje da li bi globalno isključiva prisutnost solarnih ćelija i dalje mogla pratiti smjernice minimalnog utjecaja na okoliš.



**Slika 1.** Primjeri interakcije parametara fizikalnih metoda nanošenja na samoorganizaciju domena nanostrukturiranih nanomaterijala.

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

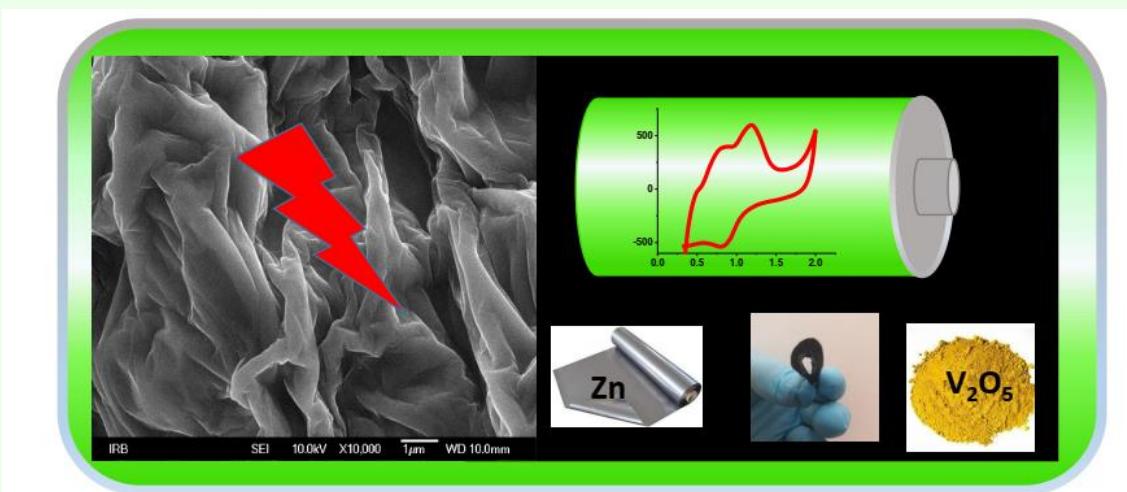
## Cink-ionske baterije temeljene na grafenskom papiru

Marijana Kraljić Roković

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: [mkralj@fkit.hr](mailto:mkralj@fkit.hr)

Razvoj punjivih baterija od iznimne je važnosti, posebice zbog njihove primjene u prijenosnim elektroničkim uređajima i električnim vozilima. Litij-ionsku bateriju karakterizira velika gustoća energije, međutim to još uvijek ne zadovoljava potrebe suvremenog društva. Ostali nedostaci ove baterije su upotreba organskih elektrolita, laka zapaljivost, visoka cijena i potreba za osiguravanjem savršeno suhog okoliša tijekom procesa proizvodnje. Osim toga, električna provodnost organskog elektrolita koji se upotrebljava u litij-ionskoj bateriji dva je reda veličine niža u usporedbi s vodenim medijem, što smanjuje specifičnu snagu baterije. Stoga se potiče razvoj sigurnijih, jeftinijih i ekološki prihvatljivijih baterija kao što su cink-ionske vodene baterije (ZIB). Ove baterije imaju manju gustoću energije u odnosu na litij-ionske baterije, međutim veća gustoća snage omogućuje im premošćivanje razlike između superkondenzatora i konvencionalnih baterija. ZIB se sastoji od cinkove anode i katode od metalnog oksida (npr.  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  ili neki drugi materijal slojevite strukture).

Dosadašnja istraživanja su pokazala da prisustvo reduciranih grafenovih oksida (rGO) može znatno poboljšati svojstva aktivnih materijala koji se primjenjuju u elektrokemijskim izvorima energije [1]. Velika površina rGO omogućuje taloženje velikih količina redoks aktivnog materijala u obliku tankog filma, čime se olakšava njegovo iskorištenje. rGO osigurava dobru stabilnost aktivnog materijala, kao i dobru električnu provodnost [2]. U slučaju da se rGO koristi u formi papira može se izbjegći upotreba veziva i strujnog kolektora što dodatno pojednostavljuje izvedbu ove baterije.



**Slika 1.** Elektrokemijski odziv i aktivni materijali koji se koriste u cink-ionskim baterijama.

1. G. Ljubek i M. Kraljić Roković, Active Materials for supercapacitor application, *Kem. Ind.* **68** (2019) 507.
2. W. Zhou, J. Chen, C. He, M. Chen, X. Xu, Q. Tian, J. Xu, C.-P. Wong, Hybridizing  $\delta$ -type  $\text{Na}_x\text{V}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  with graphene towards high-performance aqueous zinc-ion batteries, *Electrochim. Acta* **321** (2019) 134689.

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

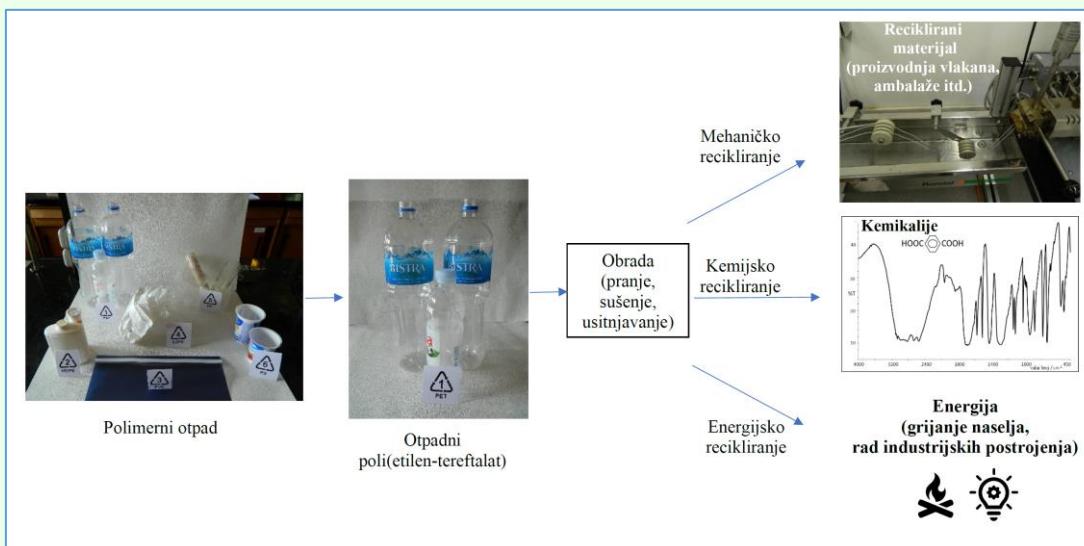
## Recikliranje polimernog otpada

Ljerka Kratofil Krehula

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: krehula@fkit.hr

Polimerni materijali intenzivno se upotrebljavaju u različitim područjima zbog svojih dobrih svojstava, lake prerade i većinom niske cijene, a gospodarski razvoj svakodnevno povećava potrebu za njima. Međutim, dio proizvoda izrađenih od polimernih materijala koristi se jednokratno, najčešće kao ambalaža, i odbacuje u kratkom roku od proizvodnje pa je količina polimernog otpada u stalnom porastu i mora se zbrinuti na prikladne načine. Odlaganje polimernog otpada na odlagališta komunalnog otpada nastoji se svesti na najmanju moguću mjeru, a postupci recikliranja polimernog otpada zahtijevaju pažljivi pristup, uz procjenu utjecaja na okoliš i provođenje zakonskih propisa. U konačnici, kada se provodi na pravilan način, recikliranje polimernog otpada doprinosi očuvanju prirodnih resursa, smanjenju odlagališnih prostora i zaštiti okoliša.

Cjelokupni proces zbrinjavanja polimernog otpada sastoji se od prikupljanja, transporta i pripreme za recikliranje (usitnjavanje, pranje, sušenje itd.) te postupaka recikliranja. Ovisno o tipu recikliranja, rezultat mogu biti različiti vrijedni proizvodi: reciklirani materijali kada je riječ o mehaničkom recikliranju, kemikalije koje nastaju postupcima kemijskog recikliranja i energija kada se polimerni otpad koristi kao gorivo prilikom energijskog recikliranja<sup>1,2</sup>. Odabir postupka recikliranja ovisi o društvenoj infrastrukturi, tj. organizaciji prikupljanja, o vrsti, raspoloživoj količini, heterogenosti i onečišćenosti polimernog otpada, a svim je postupcima cilj dobiti što kvalitetniji produkt recikliranja uz ekološku i ekonomsku opravdanost procesa. U ovom će predavanju biti dan pregled postupaka recikliranja polimernog otpada. Nadalje, istaknut će se važnost pripreme polimernog otpada za recikliranje, razmotrit će se glavni problemi tijekom procesa recikliranja i njihova moguća rješenja. Bit će prikazani i rezultati istraživanja recikliranja polimernih materijala mehaničkim i kemijskim postupcima s naglaskom na recikliranje poli(etilen-tereftalata).



Slika 1. Postupak zbrinjavanja polimernog otpada

1. J. Scheirs, *Polymer Recycling: Science, Technology and Applications*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
2. Lj. Kratofil Krehula, Z. Hrnjak-Murgić, Z. Katančić, *Plastics and Priority During the Recycling* u *Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering*, IGI Global, Hershey, SAD, 2015, 257-284.

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

## Klimatski neutralne tehnologije u proizvodnji naprednih materijala

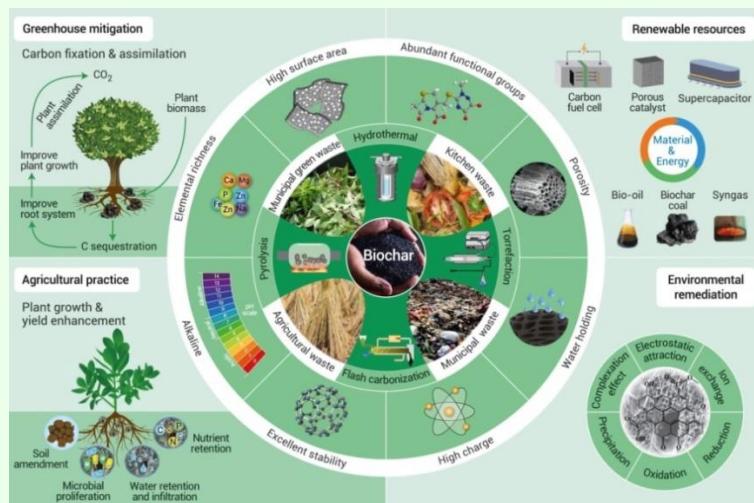
Elvira Vidović

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: evidov@fkit.hr

Potražnja za proizvodima iz obnovljivih sirovina, po mogućnosti i biorazgradivih dolazi od potrošača, proizvođača, industrije i zakonodavca. Težnje su zaobići fosilne sirovine, postići klimatsku neutralnost, smanjiti utjecaj na okoliš, minimizirati sigurnosne rizike te na taj način poboljšati zdravstvenu dobrobit ljudi i životinja. Plastični materijali omogućuju visoku razinu komoditeta u modernom društvu ali već neko vrijeme prepoznati su okolišni i zdravstveni problemi povezani s njima. Bioplastika je jedno od rješenja za tu vrstu problema zbog čega se tim materijalima predviđa sjajna budućnost. Tu se svrstavaju brojni materijali, a u izlaganju će biti razmotrena nekolicina njih.

*Poli(laktid) (PLA)* se pokazao prikladnim za vrlo različite primjene: od medicinskih implantata, dijelova opreme, tekstila, polimernih i kompozitnih materijala za ambalažne namjene, izradu pribora za jelo i slično, uspješno je prošao faze od početnih istraživanja do visokotonažnog proizvoda.

*Poli(etilen-furanoat) (PEF)*, materijal koji se dobiva iz bioobnovljivih izvora, potpuno reciklabilan te stoga potencijalna izvanredna zamjena za sveprisutni PET. *Celuloza i srodni biomaterijali* studiraju se i evaluiraju iz sasvim novih kutova: primjena mikro- i nanoceluloze kao punila, površinska i molekulska funkcionalizacija celuloze, priprava celuloznih hydrogelova i aerogelova – posebno dizajnirani materijali za zahtjevnije namjene (separacijske membrane, nosači za ciljanu dostavu lijekova i slično). *Dihidrolevogukozanon (Cyrene™)* proizведен iz celuloze preko levogukozenona, kao primjer proizvodnje i daljnje primjene platformske kemikalije. *Proizvodnja zelenog amonijaka* iz zelenog vodika - primjer klimatski neutralne tehnologije modifikacijom jednog od, za čovječanstvo, najvažnijih procesa. *Proizvodnja mineralnih gnojiva iz zelenog amonijaka*. Primjenom pametne ovojnica na vodotopljivom diamonij-fosfatnom (DAP) gnojivu postiže se *i*) produženo, kontrolirano otpuštanje aktivne tvari, *ii*) značajno smanjenje utjecaja na okoliš smanjenjem količina N i P koji završavaju u tlu i podzemnim vodama.



Slika 1. Održivi razvoj na primjeru proizvodnja biougljena uz nulte emisije [1]

[1] Wang F., Harindintwali J.D., Yuan Z., et al. Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality. The Innovation 2(4)(2021)100180.



Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

## Održivost biorazgradive plastike: novi problem ili rješenje za globalno onečišćenje plastikom?

Dajana Kučić Grgić

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: [dkucic@fkit.hr](mailto:dkucic@fkit.hr)

Plastika je nezamjenljivi materijal današnjice i ne postoji područje života bez nje. Važna je na područjima pakiranja, transporta, građevinarstva, medicine i elektronike. Iako su plastični materijali visoke kvalitete, zabrinjavajuće je može li se ovim plastičnim materijalom u našem društvu pravilno upravljati. Dok je plastika postala visoko cijenjena zbog svoje dugotrajne funkcionalne upotrebe, nedavno su se pojavila mnoga gledišta o opasnostima za okoliš povezanim s plastikom i energetskim krizama. Čestice plastike i druge onečišćujuće tvari, poput aditiva, nalaze se u našem okolišu i prehrambenom lancu te predstavljaju prijetnju ljudskom zdravlju, a i pridonose klimatskim promjenama. Razvoj biorazgradive plastike usmjeren je na stvaranje održivijeg i zelenijeg svijeta s manjim utjecajem na okoliš. Biorazgradiva plastika također može imati svojstva slična tradicionalnoj plastici, a istovremeno donosi dodatne prednosti zbog svog minimalnog utjecaja na okoliš, primjerice smanjena je emisija ugljikovog(IV) dioksida, te se može razgraditi procesom kompostiranja. Potražnja za ekonomičnim, ekološki prihvatljivim materijalima raste u cilju smanjenja otpada kroz bolje upravljanje resursima.



Slika 1. Biorazgradiva plastika vs. kompost

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

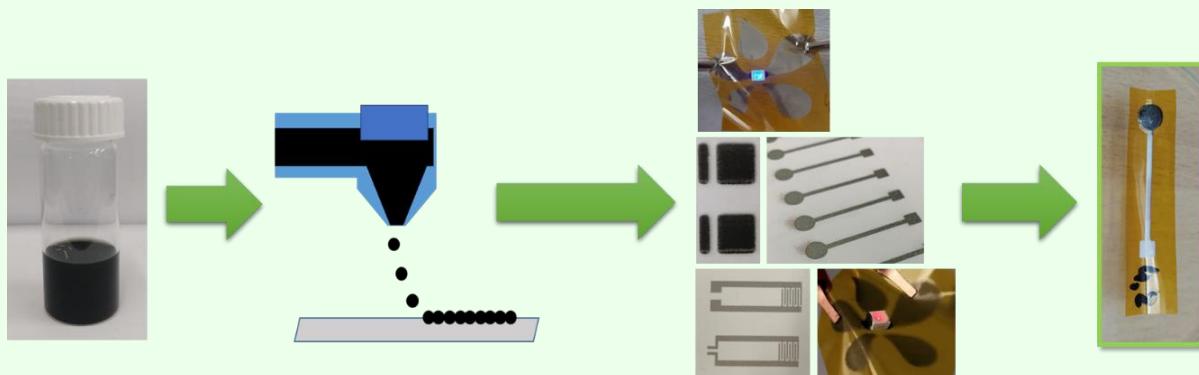
## Inkjet ispis kao zelena tehnologija proizvodnje elektrokemijskih senzora

Petar Kassal

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: pkassal@fkit.hr

Kemijski senzori omogućavaju brzo i jednostavno određivanje raznih analita te su prisutni u mnogim industrijama: biomedicini i zdravstvu, prehrabenoj industriji, automobilskoj industriji, poljoprivredi, zaštiti okoliša itd. Elektrokemijski senzori, uređaji kod kojih je naponski ili strujni odziv rezultat interakcije analita i površine elektrode, najzastupljenija su podgrupa kemijskih senzora. Nova područja primjene – npr. neinvazivna analiza bioloških fluida pomoću nosivih senzora – zahtijevaju još veći stupanj minijaturizacije elektrokemijskih senzora i plošnu izvedbu bez unutarnjeg elektrolita. Elektrode za nove generacije elektrokemijskih senzora najčešće se izrađuju sitotiskom ili fotolitografskim tehnikama. Međutim, *inkjet* ispis predstavlja zelenu alternativu navedenim tehnologijama. U usporedbi sa sitotiskom, *inkjet* ispis je digitalna tehnika koja omogućava bolju rezoluciju, generira manje otpada te ne zahtijeva izradu posebnih maski, šablona ili sita (Slika 1.).

Ključan korak u razvoju elektrokemijskih senzora *inkjet* ispisom je formulacija vodljivih tinti. Zbog svojih električnih i kemijskih svojstava te malih dimenzija, nanočestice metala i nanougljici su najčešće korišteni funkcionalni materijali u takvim vodljivim tintama. Da bi bile primjenjive za *inkjet* ispis, disperzije nanomaterijala moraju biti stabilne i imati odgovarajuća reološka svojstva, a nanočestice moraju biti dovoljno male. Poželjno je i korištenje zelenih otapala umjesto toksičnijih organskih. U predavanju će biti predstavljen razvoj i karakterizacija dviju vodljivih tinti: jedne s nanočesticama srebra, a druge s grafenskim nanoplahtama. Konačno, izrada elektrokemijskih senzora pomoću navedenih vodljivih tinti bit će objašnjena kroz primjer razvoja plošne čvrstofazne ionsko selektivne elektrode za amonijev ion.



Slika 1. Shematski prikaz primjene *inkjet* ispisa u razvoju fleksibilne elektronike i plošne ion-selektivne elektrode

Ovaj rad finansirala je Hrvatska zaklada za znanost, projektom UIP-2020-02-9139.



Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

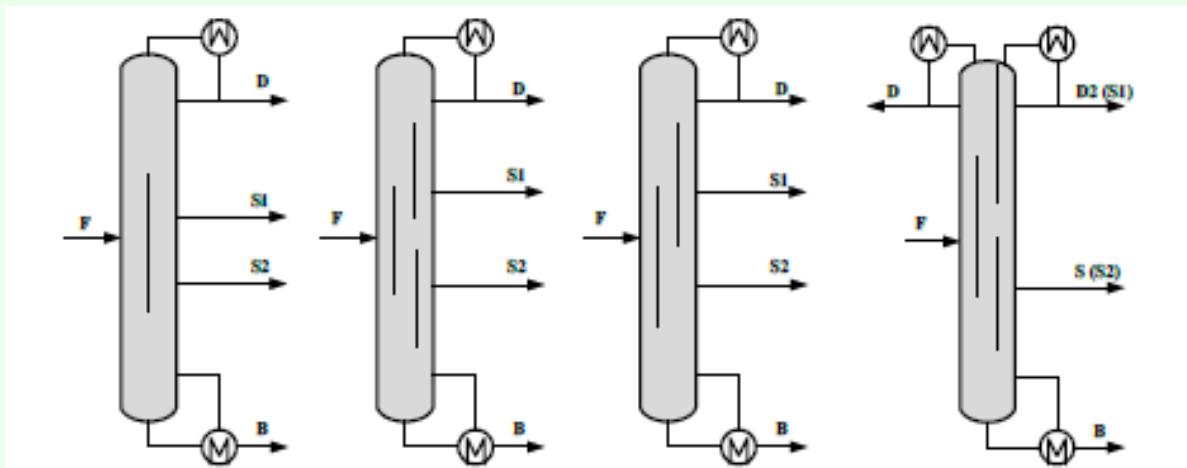
## Održivi procesi separacije fluida

Igor Dejanović

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb  
e-mail: ideja@fkit.hr

Jedan od ciljeva održivosti je proizvodnja proizvoda na način koji je prihvatljiv za okoliš, ekonomičan te društveno koristan, kroz optimizaciju korištenja tvari, energije i prirodnih resursa. Ujedinjeni Narodi su postavili 17 ciljeva održivog razvoja, od kojih se značajan dio može direktno ili indirektno povezati sa separacijskim procesima. Tijekom proizvodnje proizvoda kemijske industrije, separacijski procesi su nepoželjan ali i uglavnom neizbjeglan korak, u kojem se različite molekulske vrste izdvajaju iz smjesa, na temelju razlike u nekom fizičkom ili kemijskom svojstvu. Na separacijske procese otpada najveći dio investicijskih troškova te potrošnje energije, kao i emisija onečišćujućih tvari u okoliš. Stoga u razvoj zelenijih separacijskih procesa i proizvoda istraživači u industriji i akademskoj zajednici ulažu velik trud, a pristupi se mogu podijeliti na one koji se bave mikroskalom (npr. razvoj novih materijala ili postupaka sinteze), mezoskalom (razvoj jediničnih operacija) i makroskalom (razvoj procesa).

S obzirom da je proces destilacije najzastupljeniji i energetski najintenzivniji proces separacije kapljivitih smjesa, ne zamjenjiv pri proizvodnji velikog kapaciteta, cilj ovog izlaganja je dati pregled različitih pristupa intenzifikaciji, uglavnom kroz primjenu toplinske integracije na mezo- i makroskali.



Slika 1. Moguće unutarnje strukture destilacijskih kolona s razdjelnom stijenkom

Prva stručna konferencija *Klimatski neutralne tehnologije*  
 u sklopu projekta STEM Škola u prirodi  
 8.-10. veljače 2023., Marulićev trg 20, Zagreb  
 Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

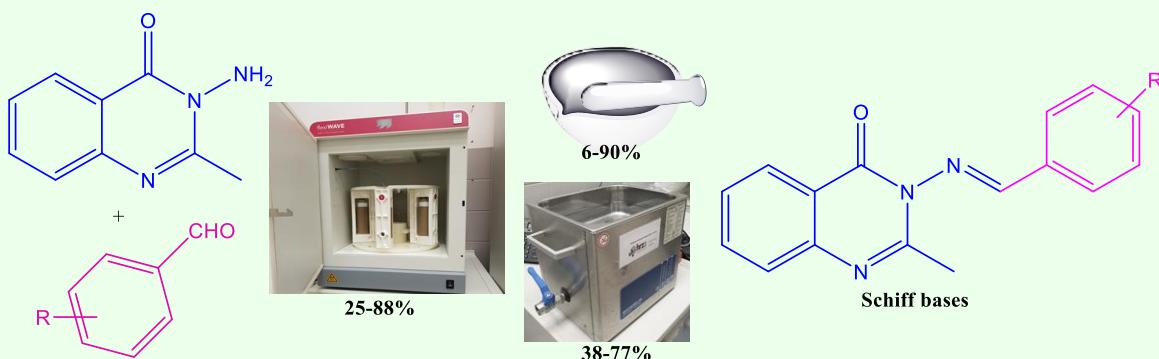
## Neki aspekti zelene kemije kao doprinos zaštiti okoliša - primjena u sintezi heterocikličkih spojeva

Maja Molnar

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, e-mail:  
[mmolnar@ptfos.hr](mailto:mmolnar@ptfos.hr)

Ubrzani rast populacije koji prati povećana potrošnja i proizvodnja dobara uzrokuje i sve veće ekološko opterećenje okoliša. U težnji da zadovolje apetite populacije, proizvodni procesi povećavaju svoje kapacitete, što posredno ima negativne učinke na okoliš. U jeku takvog brzorastućeg fenomena ubrzane proizvodnje, danas se naglasak sve više stavlja na zaštitu okoliša i zelene proizvodne i ostale procese. Uz ostale, kemijska i farmaceutska industrija primjenjuju velike količine štetnih organskih lakotopljivih otapala, koja se na kraju procesa odlažu u otpad. Osim otapala, nastoji se racionalizirati i upotreba štetnih toksičnih katalizatora i reagenasa općenito, te dizajn samog kemijskog procesa. Današnji pristup smanjenja štetnih utjecaja u kemijskim procesima se uvelike temelji na načelima zelene kemije objavljenim od strane Paul T. Anastasa i Johna C. Warnera 1998. g.

Prema načelima zelene kemije i sinteza heterocikličkih spojeva se nastoji što više prilagoditi navedenim principima, a radovi mnogih autora svjedoče vrlo efikasnoj primjeni i izvrsnim rezultatima. Mnoštvo autora dokazalo je da su neki procesi zelene sinteze heterocikličkih spojeva efikasniji od konvencionalnog pristupa, što zaista utire put novoj generaciji procesa s većom efikasnošću i manjim negativnim utjecajem na okoliš.



**Slika 1.** Sinteza kinazolinonskih Schiffovih baza zelenim metodama – sinteza potpomognuta mikrovalovima, ultrazvukom, te mehanosinteza.