

ZELENA HEMIJA- EKOLOŠKA REVOLUCIJA U UČIONICI
GREEN CHEMISTRY-ECOLOGICAL REVOLUTION IN THE
CLASSROOM

Lejla Ridanović
Nastavnički fakultet
Univerzitet „Džemal Bijedić“
Mostar
Bosna i Hercegovina

Fuad Ćatović
Nastavnički fakultet
Univerzitet „Džemal Bijedić“
Mostar
Bosna i Hercegovina

Sanel Ridanović
Nastavnički fakultet
Univerzitet „Džemal Bijedić“
Mostar
Bosna i Hercegovina

REZIME

Mnogi studenti, danas, su duboko zainteresirani za okoliš i održivost svijeta u kome žive. Uz rastuću zabrinutost javnosti zbog globalnog zatopljenja i emisije stakleničkih plinova, studenti žele razumjeti kako ljudsko djelovanje utječe na zdravlje naše planete. Duboko su zabrinuti zbog zagađenja. Prakticiraju recikliranje. Štoviše, žele osigurati zdravu Zemlju za buduće generacije. Studij prirodnih nauka obogaćen načelima Zelene hemije je temelj na kome se gradi održiva industrija i održivo društvo. Zelena hemija nije zasebna naučna disciplina, nego odgovoran interdisciplinarni pristup nauci, utemeljen na hemijskoj, ekološkoj i društvenoj odgovornosti, koji omogućuje ostvarenje kreativnosti i napredak inovativnog istraživanja. Uz ovaj novi način razmišljanja o naučnom obrazovanju i istraživanju, studenti će biti naoružani znanjem, neophodnim za efikasno rješavanje ekoloških izazova 21. vijeka.

Keywords: zelena hemija, ekologija, obrazovanje, okoliš, održivost

SUMMARY

Many students today, are deeply interested in environment and sustainability of the world in which they live. With the growing public concern about global warming and greenhouse gases, students want to understand how human activity affects the health of our planet. They are deeply concerned about pollution. They practice recycling. Moreover, they want to ensure a healthy Earth for future generations. The study of science enriched by principles of green chemistry is the foundation on which to build a viable industry and a sustainable society. Green chemistry is not a separate scientific discipline, but a responsible interdisciplinary approach to teaching, based on chemical, environmental and social responsibility, which allows achievement of creativity and advancement of innovative research. With this new way of thinking about scientific education and research, students will be armed with knowledge, necessary to efficiently solve environmental challenges of the 21st century.

Keywords: green chemistry, ecology, education, environment, sustainability

1. UVOD U KONCEPT ZELENE HEMIJE

Zelena ili održiva hemija je pojam koji se odnosi na kreiranje hemijskih proizvoda i procesa koji smanjuju ili eliminišu upotrebu i proizvodnju štetnih supstanci. Upotrebljavaju se isključivo hemikalije i hemijski procesi koji nemaju negativne posljedice na okoliš. Zelena hemija je visoko efikasan pristup prevenciji zagađenja jer primjenjuje inovativna naučna rješenja u svakodnevnim situacijama. Kao oblik molekularne prevencije zagađenja, tehnologije Zelene hemije pružaju niz pogodnosti, uključujući smanjenje količine otpadnih tvari, izbjegavanje skupih tretmana na kraju proizvodne linije, smanjenje korištenja energije i resursa, jačanje konkurentnosti proizvođača i njihovih klijenata, te upotreba i proizvodnja sigurnijih i bezopasnih sastojaka i proizvoda, kao i povećana produktivnost hemijskih reakcija. Hemikalije koje su manje opasne za ljudsko zdravlje i okoliš su manje otrovne za živi svijet u prirodi i ekosisteme, ne zadržavaju se dugo u okolišu i ne bioakumuliraju se u organizmima, sigurnije su za rukovanje i korištenje.

2. PRINCIPI ZELENE HEMIJE

Zelena hemija je zasnovana na načelima koja se mogu koristiti da se *de novo* kreiraju ili re-kreiraju molekule, materijali, reakcije i procesi koji su sigurniji za ljudsko zdravlje i za okoliš. Paul Anastas iz Agencije za Zaštitu Okoliša u SAD i John C. Warner razvili su 12 principa Zelene hemije, koji objašnjavaju šta definicije znače u praksi [1]. Načela obuhvataju pojmove kao što su:

1. **Prevencija akumulacije otpada**

Bolje je spriječiti stvaranje otpada nego tretirati ili čistiti otpad nakon što je stvoren.

2. **Iskoristivost atoma**

Potrebno je dizajnirati sintetičke metode koje će maksimizirati inkorporaciju svih materijala korištenih u procesu u finalni produkt.

3. **Manje opasne hemijske sinteze**

Kad god je moguće, trebaju se kreirati sintetičke metode za korištenje i stvaranje tvari koje su malo ili nimalo toksične za ljudsko zdravlje i okoliš.

4. **Odabir sigurnijih hemikalija**

Hemijski produkti trebaju se odabrati na način koji će utjecati na njihovu željenu funkciju, a umanjiti njihovu toksičnost.

5. **Sigurnija otapala i pomoćni materijali**

Upotrebu pomoćnih supstanci (npr., otapala, sredstva za odvajanje, itd.) treba izbjegavati kad god je to moguće, a kada se koriste trebaju biti neškodljivi.

6. **Procjena energetske efikasnosti**

Treba procijeniti ekološke i ekonomske utjecaje energetskih potreba u hemijskim procesima i svesti ih na minimum. Ako je moguće, sintetske metode treba provoditi na sobnoj temperaturi i pritisku.

7. **Upotreba obnovljivih sirovina**

Treba upotrebljavati obnovljive umjesto neobnovljivih sirovina kad god je to tehnički i ekonomski izvodljivo.

8. **Redukcija proizvodnje derivata**

Nepotrebnu derivatizaciju (blokiranje, privremenu modifikaciju fizičkih uslova, itd.) treba minimizirati ili izbjegavati ako je moguće, jer ti koraci zahtijevaju dodatne reagense i mogu proizvesti otpad.

9. **Kataliza**

Katalitički reagensi su superiorni nad stehiometrijskim reagensima.

10. Postupci za razgradnju

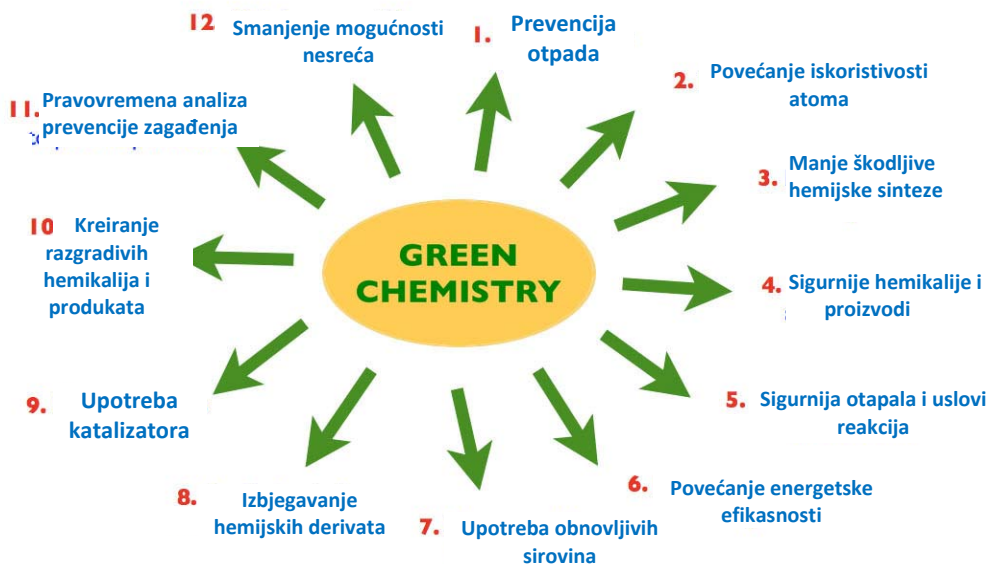
Hemijski proizvodi trebaju se nakon upotrebe razgraditi u neškodljive proizvode koji se ne akumuliraju u okolišu.

11. Pravovremena analiza prevencije zagađenja

Analitičke metodologije treba dalje razvijati da se omogući monitoring tokom procesa i kontrola prije stvaranja štetnih tvari.

12. Minimiziranje mogućnosti nesretnih slučajeva

Ze hemijske procese trebaju se odabrati supstance i oblici supstanci čijom upotrebom će se smanjiti mogućnosti hemijskih nesreća, uključujući ispuste, eksplozije i požare (Slika 1).



Anastas and Warner (1990)

Slika 1. Principi zelene hemije

3. MEHANIZMI ZELENE SINTEZE

Hemofobija je u porastu među stanovništvom. Svjesni posljedica i mnoštva načina na koje štetne hemikalije mogu ugroziti ljudsko zdravlje i okoliš, sve glasniji su zahtjevi za kontrolu nad upotrebom hemikalija. I industrijski sektor je pokazao interes za održivi razvoj, svjesni izazova koje savremeno, ekološki osvješteno društvo postavlja pred njih, a i ekonomskih prednosti tehnoloških procesa koji se oslanjaju na ekološki prihvatljivu proizvodnju. Održiv tehnološki razvoj zavisi od smanjenja industrijskog zagađenja i što manjeg iskorištavanja prirodnih resursa. Javnost, zakonodavstvo i privatni industrijski sektor podupiru zelenije alternative u industrijskoj proizvodnji.

Od početka Industrijske revolucije 1700-tih, nije se vodilo računa o ekološkim posljedicama industrijskih procesa. Ova nesklad se veoma intenzivirao od ranih 1900-tih radi bezbroj komplicirajućih faktora, uključujući konkurentnost poduprijetu kapitalizmom, tehnološkim napretkom i potrebom da se zadovolje potrebe sve većeg broja ljudi na svijetu [2]. Danas se zbog tog industrijskog nemara suočavamo sa pozamašnim brojem odlagališta toksičnog

otpada. Veoma malo pažnje se posvećivalo i energetskog i resursnoj efikasnosti. Historijski, većina znanih sintetskih reakcija je razvijena primarno na osnovu prinosa, sa malo ili nimalo brige za toksičnost početnih materijala, katalizatora, otapala, reagensa, nus-proizvoda ili nečistoća. Dalje, u mnogim slučajevima postoji nepotpuno tehničko razumjevanje procesa, nije naveden skup emisija ili parametara operacijskih otpada, nedostaju sistemi detekcije, a u nekim slučajevima, arogancija i pohlepa su nadvladale [2]. Suočavamo se, dakle, sa ogromnim tehničkim izazovima kako bi se ispravile ekološke katastrofe iz prošlosti, neophodne za napredak na ekološki-odgovoran način. Kako svjetska populacija nastavlja rasti sve bržim tempom, industrija mora proizvesti dovoljno dobara, usluga i radnih mjesta da bi se zadovoljile potrebe, ali u isto vrijeme se mora očuvati okoliš. Jednostavno rečeno: imamo samo jedan okoliš. Mora doći do preobraćenja na upotrebu sigurnijih, čistijih i efikasnijih industrijskih procesa. Pored toga, tehnologija se mora bazirati na proizvode koji su energetski efikasniji, a manje su opasni i manje zagađuju okoliš. Samo kroz ozbiljnu posvećenost održivom industrijskom razvoju industrija će moći poslovati i nastaviti da zadovoljava potrebe društva [2].

3.1. Zelena hemija u biotehnologiji

Naši problemi se ne mogu riješiti samo tehnologijom. Međutim, tehnologija, i preciznije biotehnologija, ima važnu ulogu. Npr., u mnogim slučajevima mikroorganizmi (kroz enzimatsku degradaciju ili konverziju) se koriste za čišćenje opasnog otpada. Česta heterogena priroda odlagališta toksičnog otpada (stoga i heterogena priroda enzimskih substrata) zahtijeva upotrebu cijelih mikroorganizama umjesto čistih ili monokomponentnih enzima. Dodatno, ekonomska neisplativost sprječava upotrebu čistih enzima u bioremedijaciji. Međutim, enzimi imaju važan i rastući utjecaj na više važnih okolišnih faktora u pogledu održivog industrijskog razvoja [2]. Enzimi se koriste u razvoju industrijskih procesa i proizvodnji, te prema tome zaobilaze jake hemikalije i toksične tovare koji se obično odlažu u okoliš. Previše često voda se smatra neograničenim i jeftinim resursom i prikladnim razblaživačem toksičnih nusprodukata, umjesto dragocjenim ograničenim i vitalnim prirodnim resursom [3]. U budućnosti, industrijski proizvođači moraju obratiti više pažnje i preuzeti odgovornost za sve svoje otpadne proizvode i kada god je moguće reciklirati vodu. Enzimi na mnogo različitih načina mogu ublažiti ovaj problem, kada se koriste umjesto jakih i otrovnih hemikalija. Ljepota enzima je u tome da oni odrade svoj posao, inaktiviraju se, i razlože se u jednostavnije, ne-toksične prirodne komponente. Enzimi se danas koriste u mnogim proizvodnim dobrima koja mi koristimo i konzumiramo. Većina kataliziranih industrijskih procesa se efikasno odvija samo na visokim temperaturama, pod visokim pritiskom ili u jako kiselim odnosno alkalnim uslovima. Sigurnost i ekološki problemi su čest rezultat tih ekstremnih fizičkih uslova. Enzimi mogu zamjeniti jake hemikalije i ekstremne uslove, funkcionišući najbolje na nižim temperaturama, pod nižim pritiscima i u neutralnim sredinama. Enzimi su visoko specifični, rezultiraju u proizvodnji više čistog proizvoda i manje sporednih reakcija, te se štetni procesi koji predstavljaju opasnost po okoliš mogu zamijeniti biološkim enzimima sigurnim za okoliš. Zamjena štetnih hemikalija biološkim enzimima čini mnoge industrijske procese čistijim i jeftinijim [2].

3.2. Dostignuća zelenih tehnologija

Procesi Zelene hemije koji su razvijeni do danas obuhvataju uglavnom sva područja hemije, uključujući organsku, anorgansku, biohemiju, polimernu, toksikologiju, okolišnu, fizikalnu, tehnološku itd. Za neka otkrića dodijeljene su i prestižne nagrade (*Presidential Green Chemistry Challenge Award*): [4,5]

- Barry Trostov koncept koja razmatra iskoristivost atoma u reakciji.

- Nova sinteza ibuprofena koja ima mnogo bolju evidenciju koštenja atoma i prevencije zagađenja.
- Upotreba otpadnog karbon dioksida (umjesto CFC koji oštećuju ozonski omotač) u proizvodni polistirena.
- Razvoj surfaktanta za karbon dioksid što omogućava CO₂ da se koristi kao otapalo (npr., u hemijskom čistionicama).
- Razvoj aktivatora oksidanata za hidrogen peroksid. Ovo omogućava zamjenu hlornih bjelila (preparata koji oštećuju ozonski omotač) s hidrogen peroksidom u proizvodnji papira.
- Razvoj novih insekticida i pesticida koji su specifični za ciljne organizme. (npr., pesticid koji je toksičan samo za ciljne organizme i biodegradira se u supstance bezopasne za okoliš).

4. ZAKONSKI OKVIR RAZVOJA ZELENE HEMIJE

Krajem šezdesetih i početkom sedamdesetih, pokreti za očuvanje okoliša su u fokus doveli globalne ekološke probleme, što je rezultiralo proslavom prvog Dana planete Zemlje. Tokom godina donešeno je nekoliko stotina zakona iz oblasti zaštite okoliša. Skoro svi ti akti se bave zagađenjem nakon što je do njega već došlo. Ti zakoni su općenito usmjereni na tretiranje ili smanjivanje zagađenja i postali su poznati kao zakoni "komande i kontrole". U mnogim slučajevima, zakoni postavljaju granične vrijednosti zagađenja i vrijeme reakcije, s malo obzira na mogućnost postizanja tih ciljeva i na ekonomske troškove koje iziskuju. Rizik povezan s upotrebom otrovnih hemikalija je funkcija opasnosti kroz izloženost. Mnogi zakoni pokušavaju kontrolisati rizik baveći se prevencijom izloženosti toksičnim hemikalijama. Naravno, i previše često prevencija izloženosti nije uspjela. Iako su ovi zakoni postigli mnogo u smislu poboljšanja zaštite okoliša, kontrolišući našu izloženost opasnim tvarima, još uvijek je dug put pred nama u postizanju adekvatnog zakonskog okvira kojim bi se regulisala upotreba toksičnih tvari i spriječilo zagađenje okoliša prije nego što do njega uopšte i dođe.

5. ZELENA HEMIJA U OBRAZOVANJU

2000. godine, Daryl Busch, bivši predsjednik američkog društva hemičara je rekao "Zelena hemija predstavlja stubove koji drže našu održivu budućnost. Imperativ je prenijeti i usaditi vrijednosti i načela Zelene hemije hemičarima sturašnjice" [6]. Jasno je da mnoge industrije i istraživanja mnogih naučnika prepoznaju značaj Zelene hemije. Međutim vrlo malo tih rasprava o primjeni načela Zelene hemije je pronašlo svoj put do nastavnog plana i programa na univerzitetkim predmetima [7]. Iako su napravljeni neki izolovani pokušaji da se Zelena hemija dovede u učionice, Agencija za zaštitu okoliša SAD prepoznala je potrebu da se napravi zajednički i ustrajan napor da se „ozeleni“ nastavni plan i program, tako da budući naučnici raznih profila budu naučeni da „ramišljaju zeleno“ [8]. Glavni cilj ovog projekta je razvoj materijala koji će pomoći u infuziji Zelene hemije u nastavni plan i program. Glavna žarišta projekta su razvoj predmetnih sadržaja kojim će se postići zelena revolucija u obrazovanju. Kako bi „ozelenjavanje“ kurikuluma napravilo svoj sljedeći logičan korak, potrebno je razviti module Zelene hemije za implementaciju u generalnim, specijalističkim i stručnim studijima tehničkih i prirodnih nauka. Zelena hemija ima jako uporište i u industriji i na univerzitetima. Nekoliko konferencija i simpozija sa fokusom na Zelenoj hemiji/tehnologiji se održava svake godine (npr., *Green Chemistry and Engineering Conference*). Časopis *Green Chemistry* je osnovan 1999., *Green Chemistry Institute* je nedavno formiran, a *Presidential Green Chemistry Challenge Awards* su uspostavljeni još 1995. [9]. Zelena hemija nije zasebna naučna disciplina, nego odgovoran interdisciplinarni

pristup nauci, utemeljen na hemijskoj, ekološkoj i društvenoj odgovornosti, koji omogućuje ostvarenje kreativnosti i napredak inovativnog istraživanja. Inkorporacija načela Zelene hemije u nastavni plan i program na univerzitetskim studijama donosi fundamentalno nov pristup izučavanju hemije, zaštite okoliša, ekologije, biologije, inženjeringa i mnogih srodnih naučnih oblasti. Uz ovaj novi način razmišljanja o naučnom obrazovanju i istraživanju, studenti će biti naoružani znanjem, neophodnim za efikasno rješavanje ekoloških izazova 21. vijeka.

6. ZAKLJUČAK

Zelena hemija ili ekološki bezopasna, neškodljiva i održiva hemija je proizvodnja i primjena hemijskih proizvoda i procesa koji smanjuju ili eliminišu korištenje i stvaranje opasnih tvari. Dakle, umjesto ograničavanja rizika kontrolisanjem naše izloženosti štetnim hemikalijama, Zelena hemija nastoji smanjiti, a po mogućnosti eliminisati opasnost, tako negirajući potrebu za kontrolom izlaganja. Ako se ne koriste ili ne proizvode opasne tvari, tada rizik je nula, a mi ne moramo brinuti o uklanjanju opasnih tvari iz okoliša ili ograničavaju naše izloženosti njima. Uvođenjem modula Zelene hemije u nastavni plan i program na tehničkim i prirodno-matematičkim fakultetima, značajno bi se poboljšao kvalitet nastave, što je iskustvo mnogih univerziteta u svijetu.

7. LITERATURA

- [1] Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, 1998.
- [2] Nedwin, G.E., *Green Chemistry – Using Enzymes as Benign Substitutes for Synthetic Chemicals and Harsh Conditions in Industrial Processes. Biotechnology in the Sustainable Environment*. Ed. Sayler *et al.* Plenum Press, New York, 1997.
- [3] Ahluwalia, V. K. *Basic Principles of Green Chemistry. New Trends in Green Chemistry*. Anamaya Publishers, New Delhi, India 2004.
- [4] McKenzie, L. C.; Thompson, J. E.; Sullivan, R.; Hutchison, J. E. "Green chemical processing in the teaching laboratory: A convenient liquid CO₂ extraction of natural products," *Green Chem.* 2004, 6, 355-358.
- [5] McKenzie, L. C.; Huffman, L. M.; Hutchison, J. E. "The evolution of a green chemistry laboratory experiment greener brominations of stilbene," *J. Chem. Ed.* 2005, 82, 306-310.
- [6] Haack, J.A.; Hutchison, J.E.; Kirchoff, M.M.; Levy, I. J. "Going Green: Lecture Assignments and Lab Experiences for the College Curriculum," *J. Chem. Ed.* 2005, 82, 974-976.
- [7] McKenzie, L.C.; Huffman, L.M.; Rogers, C.; Hutchison, J.E.; Goodwin, T.E. "Greener Solutions for the Organic Chemistry Lab: Exploring the Advantages of Alternative Reaction Media," *J. Chem. Ed.* 2009, 86, 488.
- [8] <http://jchemed.chem.wisc.edu/Journal/Issues/1995/Nov/abs965.html>
- [9] Matlack, A., Teaching green chemistry. In *Green Chemistry*, 1999, 1 (001), G19-G20