



ELIMINACIJA PESTICIDA UPOTREBOM BIOUGLJA

OD OTPADA DO RESURSA

DR JELENA BELJIN, VANREDNA PROFESORKA NA PRIRODNO-MATEMATIČKOM FAKULTETU UNIVERZITETA U NOVOM SADU I RUKOVODITELJKA PROJEKTA ENVIROCHAR

U Evropi, pa i kod nas u Srbiji, količine otpada koje se generišu su izuzetno velike. U okviru pregovora za pristupanje EU, Republika Srbija je kroz Poglavlje 27 započela proces uspostavljanja sistema upravljanja otpadom i njegovo prilagođavanje ciljevima i pravnim tekovinama EU. Prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine, u Republici Srbiji je prethodnih godina stvoreno oko 9,57 miliona tona otpada po godini, od čega je nešto više od 100.000 tona zapravo otpad iz poljoprivrede. Ovi podaci govore u prilog tome da je pritisak na životnu sredinu sve izraženiji, do te mere da izaziva jasno uočljive negativne uticaje na zemljište, vazduh i vodne resurse, sa naknadnim uticajem na zdravlje stanovništva i održivost ekosistema izloženih riziku.

S obzirom na to da se u Vojvodini obrađuje više od 1.500.000 hektara zemlje i da se količina upotrebljenih pesticida procenjuje na više od 22.000 tona godišnje, postaje očigledno da nauka mora da primeni održiva rešenja za određivanje i uklanjanje ovih jedinjenja. Kada se primenjuju na zemljište i biljke, pesticidi dospevaju i u podzemne vode i u vodene sisteme, zagađujući površinske vode i sediment. Biouglalj se pojavio kao jedno od rešenja koje bi imalo značajan uticaj na ekonomske troškove određivanja pesticida u sistemima voda/sediment, ali i na efikasnost uklanjanja pesticida postojećim procesima koje bi biouglalj modifikovao. Ovakva primena bi omogućila da se smanji količina hemikalija potrebnih za određivanje i uklanjanje pesticida, istovremeno utičući na minimizaciju i valorizaciju otpadne biomase i primenu principa zelene hemije i održivog razvoja.

Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, rade na pronalaženju rešenja na koji način otpad iz poljoprivrede može da se iskoristi u analitici i elektrohemijski u skladu sa principima zelene hemije,



Dr Jelena Beljin

i to u okviru projekta koji se trenutno realizuje, a koji je finansiran od strane **Fonda za nauku** u okviru poziva za mlade istraživače Promis2023 pod nazivom *Sustainable solutions in environmental chemistry: exploring biochar potential* – EnviroChar. Rukovodilac projekta je profesor dr Jelena Beljin, a članovi tima su docent dr Jasmina Anojić, dr Tajana Simetić, dr Tamara Apostolović, msc Sanja Mutić i msc Nina Đukanović.

Pristup „od otpada do resursa“ jedna je od ključnih rečenica za 21. vek, s obzirom na to da Zemlji ponestaje prirodnih resursa. Zaštita, prevencija i sanacija životne sredine su ključni ciljevi u novim ekološkim politikama i strategijama (kao što su European Green Deal i Agenda 2030), koji imaju za cilj sveobuhvatnu i održivu transformaciju glavnih sistema proizvodnje, potrošnje i trgovine. Za ispunjavanje ovih zadataka ključno je implementirati zelene princi-

pe u analitičke metode životne sredine u fundamentalnoj hemiji. Zelena hemija traži alternativne, ekološki prihvatljive reakcione medije i istovremeno teži povećanju brzine reakcije i nižim temperaturama reakcije. Koncept zelene hemije primenjuje inovativna naučna rešenja za rešavanje ekoloških problema postavljenih u laboratoriji. Iako je dobro poznato da istraživači koriste različit otpad kao sirovinu za proizvodnju biouglja i drugih nusproizvoda sa dodatnom vrednošću da bi ublažili ili uklonili zagađujuće materije iz životne sredine, biouglalj se pojavio kao jedan od načina da iz otpada procesom pirolize, termičkog razlaganja organskog materijala, na visokim temperaturama dostignemo ciljeve zelene hemije.

Projekat EnviroChar predstavlja inicijativu u oblasti održivosti i zelene hemije, usredsređen na transformaciju poljoprivrednog otpada u biouglalj i ispitivanje mogućnosti primene ovog materijala u detekciji i uklanjanju pesticida iz životne sredine. U cilju dobijanja biouglja koristi se proces pirolize, odnosno termohemijskog razlaganja organske materije u odsustvu kiseonika pri visokim temperaturama, koja predstavlja ključnu tehnologiju u smanjivanju emisije gasova staklene bašte. Biouglalj je ugljenični materijal visoke poroznosti, površine i površinske funkcionalnosti. Njegova proizvodnja, ukoliko se radi na odgovarajući način, može da uključuje svih 12 zelenih principa hemije počevši od prevencije akumulacije otpada, preko načina sinteze do energetske efikasnosti.

Naš osnovni cilj je proizvodnja biouglja iz različitih vrsta biomase, uključujući poljoprivredne ostatke kao što su drvena masa, biomasa kukuruza i pšenice, a zatim i karakterizacija njegovih fizičkih i hemijskih svojstava. Karakterizacija materijala je ključna jer nam omogućava da razumemo osobine biouglja i njegovo ponašanje u eksperimentalnim uslovima i uključuje, na primer,

skenirajuću elektronsku mikroskopiju za proučavanje površinske strukture, Brunauer-Emmett-Teller analizu za merenje površine, infracrvenu spektroskopiju sa Fourierovom transformacijom za razumevanje hemijskih funkcionalnih grupa prisutnih na površini biougla i mnoge druge tehnike.

Jedan od najvećih izazova je postizanje konzistentnog kvaliteta i osobina biougla proizvedenog iz različitih sirovinskih materijala. Varijabilnost u sirovinama može dovesti do razlika u krajnjem proizvodu. Ovaj problem se rešava standardizacijom proizvodnih protokola i pažljivim kontrolisanjem uslova pirolize.

U okviru EnviroChar projekta, jedan od fokusa je razvoj ekonomičnih i efikasnih elektrohemijskih senzora za detekciju pesticida u akvatičnoj sredini. Iako u današnje vreme postoji veliki broj analitičkih metoda za određivanje pesticida, većina njih podrazumeva primenu skupih instrumenata, toksičnih reagensa i složenu pripremu uzoraka. Stoga se teži razvoju alternativnih metoda, kao što su elektroanalitičke metode koje imaju brojne prednosti, poput visoke osetljivosti, selektivnosti, niske cene instrumenta, mogućnosti minijaturizacije, prenosive aparature i samim tim rada na terenu. Glavni cilj je primena biougla kao modifikatora ugljeničnih elektroda radi poboljšanja performansi senzora. Biougalj, karakterističan po svojoj poroznoj strukturi, velikoj specifičnoj površini i katalitičkim osobinama, pokazao se kao idealan materijal za ove aplikacije, omogućavajući precizno određivanje čak i niskih koncentracija pesticida, ključnih kontaminanata u životnoj sredini.

U istraživanju se koristi jednostavan pristup modifikacije ugljeničnih elektroda različitim tipovima biougla. Na primer, jedna elektroda od ugljenične paste se priprema ručno, mešanjem odgovarajućih količina grafitnog praha i vezivne komponente u avanu sa tučkom. Ovoj binarnoj smeši možemo dodati modifikator (u našem slučaju biougalj) u određenom procentu i u roku od 30 minuta dobijamo pripremljenu elektrodu. Pored optimizacije količine biougla u radnoj elektrodi, takođe, potrebno je optimizovati i parametre voltametrij-skih merenja, kao i pH vrednost po-



moćnog elektrolita, kako bi se postigla maksimalna osetljivost razvijene voltametrijske metode. Praktična primenljivost demonstrira se kroz analizu realnih uzoraka iz akvatične sredine, kao što su rečne i otpadne vode. Ovakvi senzori ne samo da su ekonomični i imaju brz odziv, već omogućavaju kontinuirani monitoring elektrohemijski aktivnih organskih zagađivača u velikim razmerama, pružajući dragocene analitičke informacije za zaštitu životne sredine.

EnviroChar projekat stoga predstavlja inovativan pristup u domenu zelene hemije, prvenstveno se baveći održivim razvojem i primenom biougla u celom životnom ciklusu proizvoda. Kombinacija optimizovanih karakteristika biougla i modernih elektrohemijskih tehnika čini ovu metodologiju posebno obećavajućom za budućnost analitičke hemije, kao i monitoringa i zaštite životne sredine.

Drugi deo projekta se bavi uklanjanjem pesticida iz vodenih medijuma. Sam proces uklanjanja polutanata kao što su pesticidi je izazovno jer konvencionalne metode tretmana, poput adsorp-

cije ili mikrobiološke degradacije, često nisu dovoljno efikasne za potpuno uklanjanje ovih kontaminanata. Zbog toga je neophodno razviti efikasne i ekološki prihvatljive metode za brzo i potpuno uklanjanje ovih jedinjenja. Do danas je razvijen veliki broj tehnologija za uklanjanje organskih zagađujućih materija iz vode, među kojima posebno mesto zauzimaju unapređeni oksidacioni procesi (*eng. advanced oxidation processes, AOPs*). Ovi procesi se smatraju veoma konkurentnom tehnologijom za tretman vode jer koriste moćne oksidante kao što su ozon, vodonik-peroksid, persulfat, peroksimonosulfat, hlor, persirćetna kiselina i drugi. AOPs zasnivaju se na *in-situ* generisanju visoko reaktivnih slobodnih radikala, uglavnom hidroksilnih radikala (HO[•]), ili drugih visoko reaktivnih vrsta kiseonika (*eng. reactive oxygen species ROS*) koji su sposobni da degradiraju ili potpuno mineralizuju kompleksne organske zagađujuće materije, kao i da inaktiviraju mikroorganizme, što ih čini uspešnim u primeni za tretman vode i otpadnih voda. Nedavno su se AOPs zasnovani na sulfatnim radikalima, pojavili kao obećavajuće tehnike tretmana sa ključnim prednostima u odnosu na konvencionalne AOPs, zbog visokog redoks potencijala, veće selektivnosti i dugog polživota ovih radikala. Persulfat se često koristi kao prekursor sulfat radikala, ali zahteva prethodnu aktivaciju kroz različite metode kao što su UV zračenje, toplota, prelazni metali (najčešće gvožđe ili kobalt), ugljenični materijali i kombinovane tehnike aktivacije. Ugljenični materijali kao što su aktivni ugalj, grafen, ugljenične nanocevi i redukovani grafen oksid pokazuju značajan potencijal u AOPs. Ipak, ovi materijali su skupi i potiču iz sve manje dostupnih fosilnih goriva.

Danas, korišćenje obnovljivih resursa poput aktiviranja persulfata biougljem može poboljšati održivost ovih procesa i smanjiti njihov ekološki uticaj. Biougalj se ističe u primeni u AOPs zbog svojih jedinstvenih karakteristika kao što su visoka specifična površina i bogata porozna struktura, katalitička aktivacija, održivost i obnovljivost, ekonomska isplativost, kao i potencijal za regeneraciju i ponovnu upotrebu. Ova tehnologija predstavlja značajan korak napred u oblasti tretmana voda.