

Univerzitet u Novom Sadu  
Prirodno-matematički fakultet  
Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine  
Udruženje za unapređenje zaštite životne sredine „Novi Sad“  
Fondacija "Docent dr Milena Dalmacija"



# Obnovljivi izvori energije u tretmanu otpadnih voda: novi integrisani koncepti i primena

dr Gordana Pucar Milidrag

Novi Sad 8-10. septembar, 2021.



- Svetska potreba za energijom je u porastu usled povećanja broja stanovništva kao i tehnološkog napretka.
- Stoga, u cilju obezbeđivanja održive budućnosti, zemlje u razvoju se sve više okreću iznalaženju tehnologija u svrhu veće upotrebe obnovljivih izvora energije.



- Obnovljivi izvori energije predstavljaju izvore energije koji se konstantno dopunjavaju.
- Međutim, treba voditi računa da se ne troše brže nego što mogu sami da se obnove.

- Glavni oblici obnovljivih izvora energije su:

- energija Sunca
- energija vetra
- energija vode
- energija dobijena iz biomase
- energija termalnih izvora



Solarna energija najbolji izbor iz više razloga:

1. Najveći izvor energije - emituje  $3,8 \times 10^{23}$  kW, od toga do Zemlje stiže  $1,8 \times 10^{14}$  kW, ukoliko bi konvertovali samo 0,1 % solarnog zračenja koje dospe do površine Zemlje u električnu energiju, izlazna snaga bi bila 17300 GW, što je sedam puta veće od globalnog proseka godišnje potrošnje energije.
2. Predstavlja neiscrpan izvor energije.
3. Korišćenje i praćenje solarne energije nema štetan uticaj na ekosistem, čija prirodna ravnoteža ostaje netaknuta.
4. Solarni sistemi se mogu efikasno koristiti za potrebe seoskih domaćinstava, industrijskih operacija i u domovima, jer su lako primenljivi i pristupačani.



## Metode tretmana otpadne vode primenom solarne energije



Tretman otpadnih voda primenom solarne energije se može postići sledećim metodama:

- 1. Fotokatalitički metod (homogena i heterogena fotokataliza)** - Fotokataliza se zasniva na tome da materijali apsorbuju svetlost stvarajući par elektron-šupljina što omogućava hemijsku transformaciju koju će sprovesti učesnici reakcije, da bi se nakon svakog ciklusa takve interakcije obnavljao njihov hemijski sastav.
- 2. Solarni termalni elektrohemijski procesi** – Najveći napredak je postignut u elektrohemijskim tehnologijama kao što su elektro-flotacija, elektro-koagulacija, elektro-oksidacija, elektro-redukcija i elektro-dezinfekcija, integrisane sa naprednom fotonaponskom (PV) tehnologijom. Kod ovih hibridnih tehnologija na prečišćavanje otpadnih voda značajno utiču vrsta elektrohemijskih parametara i vrsta anodnog materijala. Prednosti elektrohemijske tehnologije uključuju energetska efikasnost, trajnost, ekološku kompatibilnost i automatizaciju.



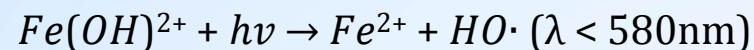
**3. Solarni metod desalinacije** – Solarna desalinizacija je tehnika desalinizacije koju pokreće solarna energija. Dve uobičajene metode su direktna (termička) i indirektna (fotonaponska).

**4. Solarni unapređeni procesi oksidacije (AOPs)** – Unapređeni procesi oksidacije tokom kojih se koristi solarna energija za potrebe degradacije organskih polutanata su pokazali pozitivne rezultate, jer kao takvi predstavljaju skup katalitičkih i fotohemijskih metoda koji se mogu koristiti u homogenim i heterogenim procesima u svrhu poboljšanja oksidativne degradacije organskih supstanci.



- Jedan od najčešće korišćenih AOPs-a kada je u pitanju tretman otpadnih voda je Fenton proces. Zasniva se na generisanju •OH radikala (reakcija Fe i H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).
- Foto-Fenton predstavlja kombinaciju jona gvožđa, vodonik-peroksida i UV-VIS zračenja ( $\lambda < 600 \text{ nm}$ ), što rezultuje većom produkcijom hidroksilnih radikala:

- redukcijom Fe<sup>3+</sup> do Fe<sup>2+</sup>



- fotoliza vodonik-peroksida pri manjim talasnim dužinama



- Fero joni nastali tokom reakcije će dalje reagovati sa vodonik-peroksidom-generisanje više •OH radikala (brža reakcija).



## Primena solarne energije u svrhe tretmana otpadnih voda tekstilne industrije (studija slučaja)



- Kada je u pitanju teritorija Srbije, potencijal sunčeve energije predstavlja 16,7% od ukupno iskoristivog potencijala obnovljivih izvora energije.
- Energetski potencijal sunčevog zračenja je za oko 30% viši u Srbiji nego u Srednjoj Evropi.
- Broj časova sunčevog zračenja na teritoriji Srbije iznosi između 1500 i 2200 časova godišnje, dok prosečna insolacija iznosi 2071 sati, odnosno oko 270 sunčanih dana, od kojih je 70% od aprila do septembra.





- U svrhu što boljeg iskorišćenja sunčeve energije i njihove implementacije u procese tretmana otpadnih voda razvijaju se različite vrste reaktora među kojima je i solarni parabolični koncentrujući reaktor (eng. Parabolic Trough Collectors - PTCs), koji se smatra najprikladnijim kada su ovakve vrste procesa u pitanju.
- PTCs se sastoje od strukture koja nosi reflektujuću koncentrujuću paraboličnu površinu, sistema za praćenje Sunca oko jedne ili dve ose, što omogućava da površina kolektora bude pravolinijska u odnosu na sunčeve zrake, čime se postiže refleksija i koncentracija svog sunčevog zračenja na apsorpcionu cev koja se nalazi u fokusu parabole.



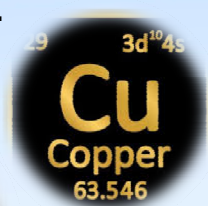
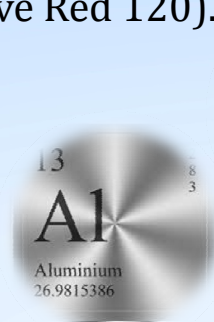


*Parabolični koncentrišući reaktor*

- Eksperimenti postavljeni u solarnom reaktoru su izvedeni tokom prolećnog (april/maj) i letnjeg perioda (jun/jul) godine pri uslovima vedrog neba, uz konstantno solarno zračenje od  $550 \text{ W/m}^2$  i  $950 \text{ W/m}^2$  (proleće i leto).
- Intenzitet sunčevog zračenja održavao se konstantnim rotacijom reaktora duž njegove ose i orijentisanjem istok-jug.
- Maksimalno vreme izlaganja sunčevom zračenju iznosilo je 390 minuta od 8:30 do 15:00 h.



- Praćena je mogućnost upotrebe modifikovanog bentonita koji je pilaren aluminijumom i bakrom nakon čega su Fe (MB1) i prekursor katalizatora (Fe/oksalat) (MB2) bili inkorporirani tokom foto-Fenton procesa uklanjanja tekstilne boje (Reactive Red 120).

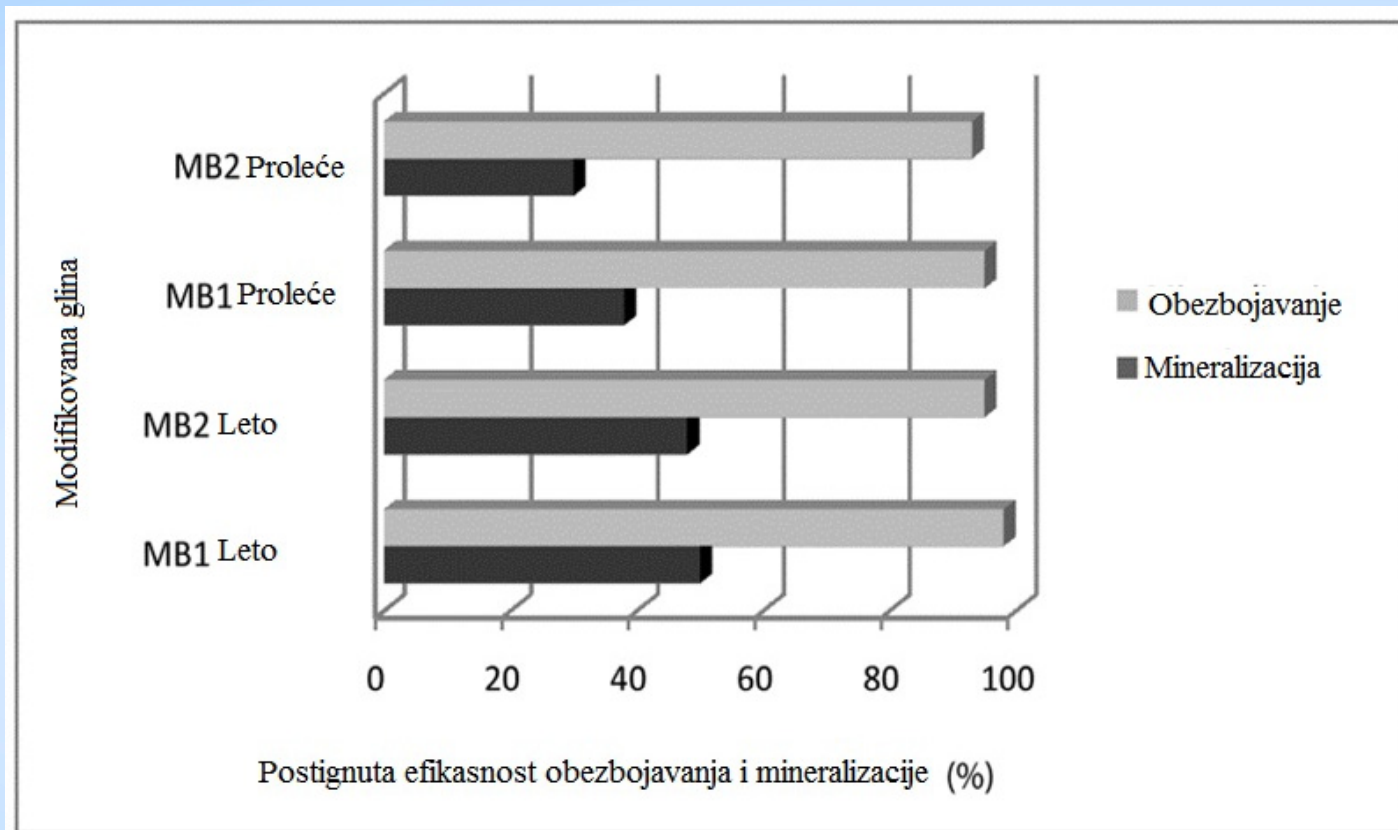


- Nakon optimizacije procesa optimalni uslovi su utvrđeni i dalje korišćeni tokom foto-Fenton procesa obezbojavanja i mineralizacije sintetičkog rastvora boje :

*Optimalni uslovi reakcije foto-Fenton procesa*

Uslovi reakcije	Foto-Fenton proces (proleće)		Foto-Fenton proces (leto)	
	MB1	MB2	MB1	MB2
pH	3	4	4	7
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	5	5	5	5
Doza katalizatora (g/l)	0,01	0,1	0,1	0,05





- Postignuta efikasnost obezbojavanja iznosila je 90% primenom oba katalizatora tokom oba perioda godine.
- Dok je procenat mineralizacije bio veći tokom letnjeg perioda godine (50%) u odnosu na prolećni period (30%) primenom oba katalizatora.

*Postignute efikasnosti obezbojavanja i mineralizacije sintetičkog rastvora boje (100 mg/l RR120) tokom foto-Fenton procesa u PTC reaktoru*



- Manji stepen mineralizacije tokom foto-Fenton procesa (proleće) se objašnjava sporijom redukcijom TOC vrednosti usled formiranja stabilnih intermedijera koji doprinose težem uklanjanju i povećanju organske materije u reakcionom medijumu.
- U cilju povećanja stepena mineralizacije potrebno je produžiti vreme reakcije.
- Takođe, katalizator MB1 je pokazao bolje katalitičke aktivnosti usled boljih strukturnih karakteristika (veća specifična površina).
- Posebnu pažnju treba obratiti na dizajn i konstrukciju reaktora odnosno efikasnosti sistema za distribuciju svetlosti, pošto uklanjanje organskog ugljenika linearno zavisi od akumulirane svetlosne energije.
- Kako je MB1 pokazao bolju katalitičku aktivnost, korišten je tokom foto-Fenton procesa (letnji period-veće zračenje) u realnom efluentu, pri istim uslovima reakcije. Rezultati su pokazali i potvrdili visok stepen obezbojavanja (92%) i mineralizacije (43%).

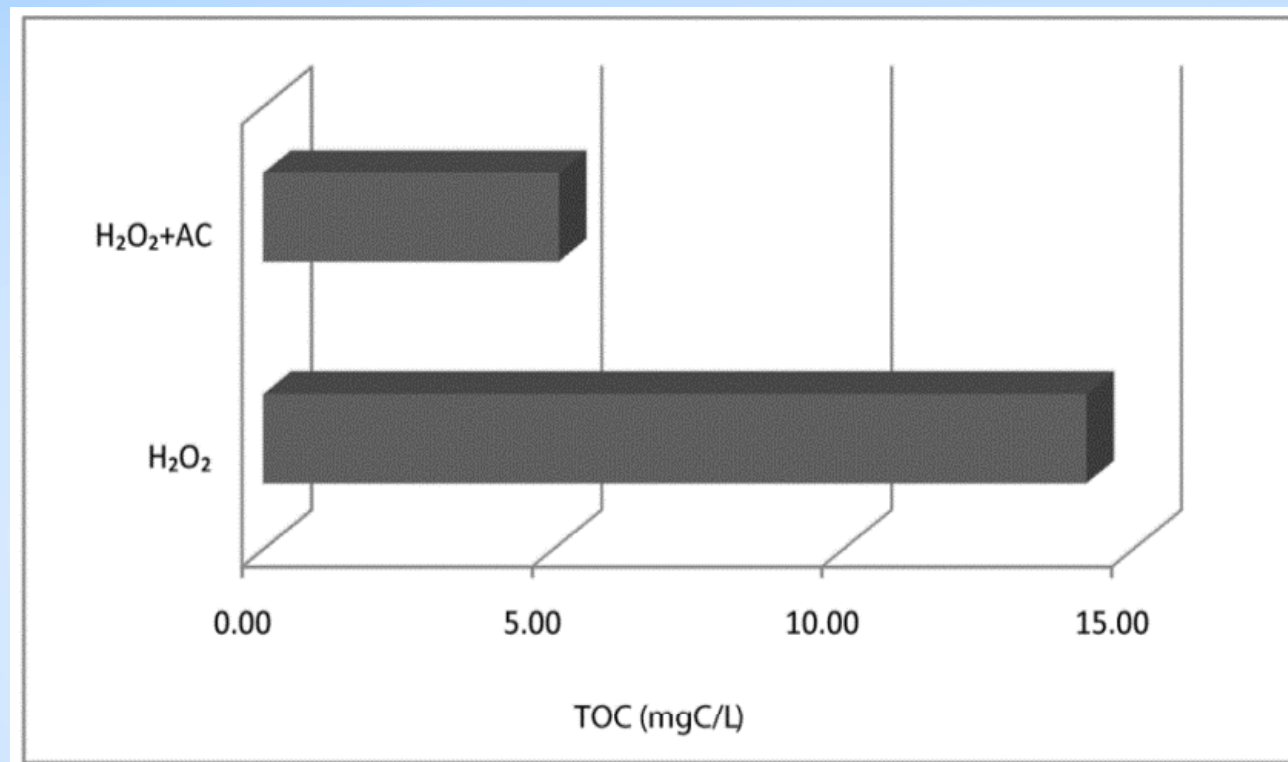


- Rezultati eksperimenta takođe su pokazali da fotoliza vodonik-peroksida ima veoma važnu ulogu u procesu obezbojavanja, usled postizanja 100% obezbojavanja sintetičkog rastvora boje nakon samo 4h reakcije, vrednosti TOC su iznosile 14,2 mgC/l (procenat mineralizacije oko 50%)
- Međutim, usled nepotpune mineralizacije, isti problem se pojavio tokom foto-Fenton procesa, došlo je do pojave intermedijera što može predstavljati problem prilikom ispuštanja vode u recipijent.



*Nastanak intermedijera tokom reakcije*





Vrednosti TOC nakon fotolize H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i kuplovanja procesa fotolize H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+AC u PTC (uslovi reakcije: RR120=[100mg/l]): a) Fotoliza H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]=5mM, pH=7, t=4h; b) fotoliza H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+AC: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]=5mM, pH=7, t=4h+AC; t<sub>mešanja</sub>=24h)

- U cilju poboljšanja performansi procesa, mogućnost upotrebe aktivnog uglja (AC) kao adsorbenta je takođe ispitivana.
- Naime, nakon procesa fotolize, sintetički rastvor boje je mešan sa aktivnim ugljem tokom 24h, postignute vrednosti TOC su iznosile 5,1 mgC/l.
- Ovo sugeriše da se spajanjem različitih procesa, poput fotolize vodonik-peroksida i adsorpcija na aktivnom uglju uz upotrebu solarne energije, mogu postići dobri rezultati kao i visok stepen mineralizacije.

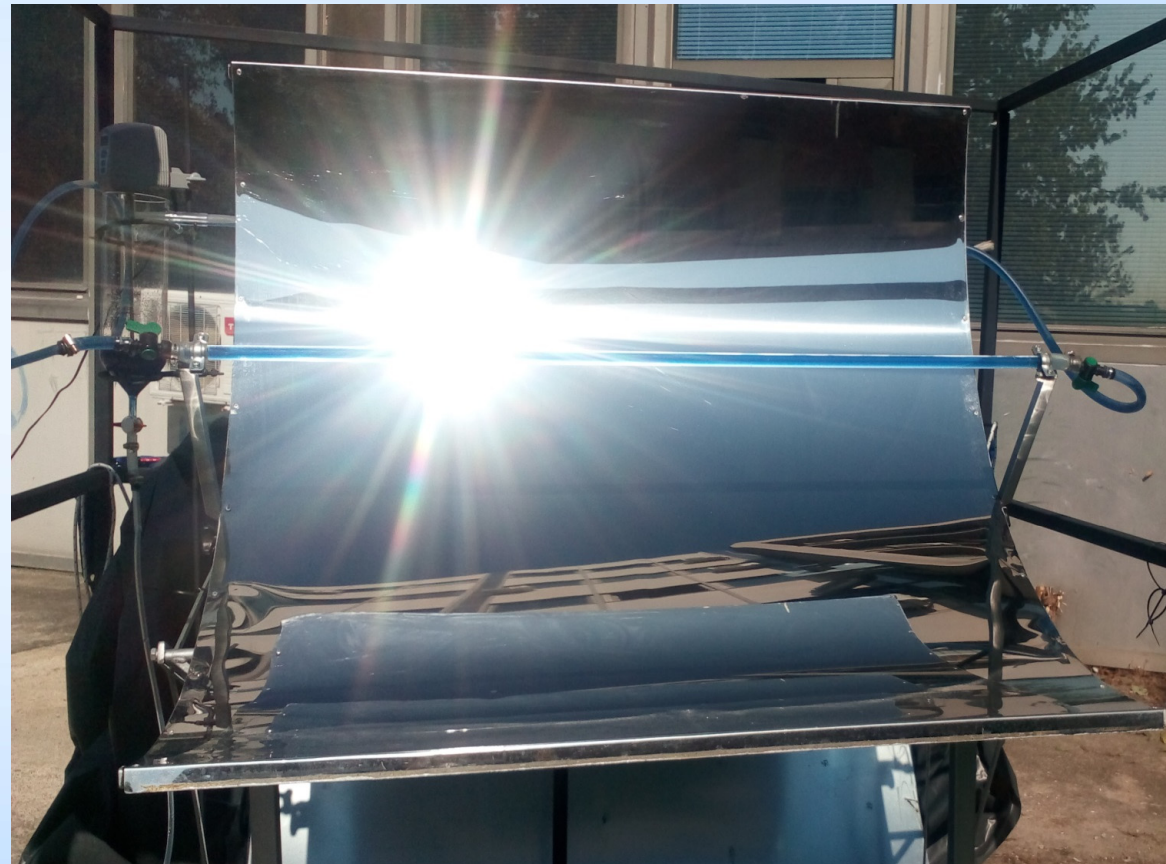


- Proučavajući fotolizu vodonik-peroksida, pH vrednost rastvora je veoma važna.
- Sa povećanjem pH vrednosti dolazi do povećanja brzine fotolize vodonik-peroksida, usled povećanja propagacije reakcije.
- Produžena fotoliza dovodi do ponovnog generisanja vodonik-peroksida i njegove akumulacije.
- Stoga vodonik-peroksid ima potencijal da se koristi kao oksidant u ovakvim tipovima fotohemijskih procesa u PTC reaktorima, međutim, za to su potrebna dodatna istraživanja.





- Solarna energija ima veliki potencijal kada je u pitanju snabdevanje električnom energijom i toplotom. Međutim, reaktori kao što su PTC imaju potencijal primene u tretmanim otpadnih voda uz primenu solarne energije kao glavne pokretačke snage sistema, posebno u kombinaciji sa različitim procesima.
- Na osnovu sprovedenih ispitivanja urađena je pilot laboratorijska skala u okviru dva nacionalna projekta „Promis“ i „Dokaz koncepta“ .
- Eksperimenti se zasnivaju na tretmanu otpadnih voda različitih industrija uz upotrebu sunčeve energije tokom prolećnog i letnjeg perioda godine kao i veštačkog izvora zračenja tokom zimskog perioda godine.
- Pored primene solarne energije, ispitivanje je usmereno i u pravcu primene zelenih katalizatora, čineći proces povoljnim kako sa ekonomskog tako i sa aspekta zaštite životne sredine.





**HVALA NA PAŽNJI!**

