



## PREGLED TEHNIČKE LITERATURE I DOKUMENTACIJE

Uređuje: Domagoj Vrsaljko

### ZAŠTITA OKOLIŠA

L. Li, S. Rong, R. Wang, S. Yu

#### Napredak u umjetnoj inteligenciji i strojnom učenju za analizu nelinearnih odnosa i vođenje procesa obrade pitke vode: Pregled

(Recent advances in artificial intelligence and machine learning for nonlinear relationship analysis and process control in drinking water treatment: A review)

Sve stroži standardi za pitku vodu čine velik pritisak na ekonomsku učinkovitost i vođenje postrojenja za obradu pitke vode. Iako neka postrojenja za obradu pitke vode rabe sustav upravljanja na temelju povratnih informacija, čini se da ta postrojenja ne zadovoljavaju zahtjeve sve veće točnosti i pravovremenosti.

Zbog svog autonomnog učenja i sposobnosti rješavanja složenih problema, umjetna inteligencija (engl. *artificial intelligence*, AI) sve više pokazuje svoj potencijal za rješavanje izazova s kojima se susreću postrojenja za obradu pitke vode. AI tehnologija pruža tehničku podršku za vođenje procesa u postrojenju za obradu pitke vode, što je učinkovitije od oslanjanja samo na ljudske analize. Analiza podataka temeljena na umjetnoj inteligenciji i evolucijski mehanizmi učenja sposobni su provesti dijagnozu kvalitete vode, autonomno provesti optimiranje procesa te imaju potencijal uspostaviti univerzalnu platformu za analizu i predviđanje procesa.

Ovaj pregledni rad ukratko predstavlja AI tehnologije koje se susreću u postrojenjima za obradu pitke vode. Štoviše, detaljno su prikazane primjene umjetne inteligencije i najnovija otkrića u području definiranja kvalitete izvorske vode, koagulacije/flokulacije, dezinfekcije i membranske filtracije, uključujući identifikaciju i praćenje onečišćivala u izvorskoj vodi, točno i učinkovito doziranje koagulacije, analizu stvaranja nusprodukata dezinfekcije i naprednu kontrolu začepljenja membrana. Konačno, raspravlja se i o izazovima s kojima se suočavaju tehnologije umjetne inteligencije i pitanjima koja je potrebno dodatno proučiti. Ti se izazovi mogu ukratko sažeti u: a) učinkovitiju karakterizaciju radi identificiranja ciljanih onečišćivala u složenoj matrici uz pomoć AI tehnologija i b) uspostavljanje obavještajnog modela i sheme odlučivanja za cijela postrojenja za obradu pitke vode te za podršku upravljanju vodoopskrbnim sustavom.

Chem. Eng. J. 405 (2021) 126673



**Slika 1** – Pumpa Viktorija zdenac, koju Zagrepčani najčešće zovu Željezni Francek i na kojoj već desetljećima Zagrepčani mogu besplatno popiti vodu izvršne kvalitete.

Na slici su dva zagrebačka Franceka, prvi, ukrašeni, kraj južnog savskog nasipa i drugi, klasične zelene boje, kraj sjevernog nasipa. Jedan od najvažnijih datuma u povijesti Zagreba je 7. srpnja 1878. godine kada je, prema ideji inženjera Melkusa, u rad pušten gradski vodovod. Vodovod se sastojao od zdenca u Zagorskoj ulici, vodospreme u Jurjevskoj ulici, magistralnog i distributivnih cjevovoda od lijevanog željeza, 111 hidranata i 21 zasuna. U odnosu na ostale metropole, Zagreb je gradski vodovod dobio pet godina prije Münchena i samo pet godina nakon Beča. Kapacitet izgrađenog vodovoda bio je 53,2 litre u sekundi, a dužina vodovodne mreže 3,9 km. Zagreb je u to vrijeme imao oko 30 000 stanovnika, a na vodoopskrbnu mrežu bilo je priključeno 11 150 ljudi. Danas je na vodoopskrbnu mrežu priključeno oko 900 000 ljudi, a zanimljivo je napomenuti da je vodosprema u Jurjevskoj ulici i danas u funkciji.

Razvojem tehnologija obrade voda i poboljšanjem životnog standarda ljudi, globalna potražnja za visokokvalitetnom pitkom vodom raste. Velika je sreća što Zagreb leži na šljunkovitim aluvijalnim nanosima rijeke Save koji sadržavaju velike količine prirodno profiltrirane podzemne vode. Nakon filtracije koja traje tjednima i mjesecima, voda se u zdencima zahvaća pomoću pumpi, preventivno dezinficira plinovitim klorom i distribuira potrošačima putem vodoopskrbne mreže.

Cijela Hrvatska je vrlo bogata vodom. Prema UNESCO-vom izvještaju, Hrvatska se na prostoru Europe smjestila na visoku treću poziciju. Vodom su od Hrvatske bogatije samo Norveška i Island. Hrvatska prema tom izvješću godišnje raspolaže s 32 818 prostornih metara obnovljive pitke vode po stanovniku i po tom se podatku uspjela svrstati u krug 30 vodom najbogatijih zemalja svijeta (izvor: slikao Domagoj Vrsaljko).

Y. L. Cheng, J.-G. Kim, H.-B. Kim, J. H. Choi, Y. F. Tsang, K. Baek

### Pojava i uklanjanje mikroplastike u postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda i postrojenjima za pripremu pitke vode: Pregled

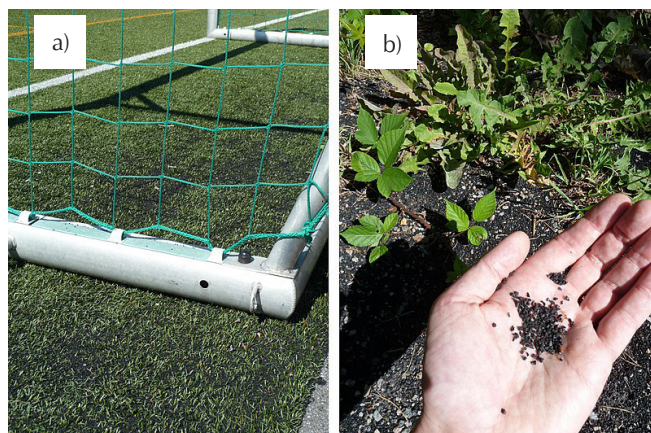
(Occurrence and removal of microplastics in wastewater treatment plants and drinking water purification facilities: A review)

Proizvodnja plastike u posljednjih 60 godina znatno se povećala te se trenutačno proizvodi 288 milijuna tona godišnje. Očekuje se da će proizvodnja doseći 33 milijarde tona do 2050. godine. Plastični otpad, iako u pravilu inertan, zbog izrazito velike raširenosti izazvao je globalnu zabrinutost zbog potencijalnih posljedica po okoliš. Mikroplastika je fragmentirana makroplastika koja ne prelazi 5 mm ili ciljano proizvedena plastika promjera od 1  $\mu\text{m}$  do 5 mm. Fizikalni tretmani u postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda imaju važnu ulogu u uklanjanju mikroplastike. Unatoč relativno visokoj stopi uklanjanja, znatna količina mikroplastike dolazi u okoliš ispuštanjem pročišćenih otpadnih voda ili mulja. Nedavno je i u postrojenjima za pripremu pitke vode otkrivena mikroplastika, što ukazuje na izravnu prijetnju ljudima.

U ovom preglednom radu prikazani su izvori i dan je pregled učinkovitosti uklanjanja mikroplastike, usredotočujući se na mehanizme uklanjanja kroz različite operacije i procesne jedinice. Za postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda masene koncentracije mikroplastike u dovodu bile su u rasponu od 61 do 5600  $\mu\text{g l}^{-1}$ , a 0,5 do 170  $\mu\text{g l}^{-1}$  mikroplastike pronađeno je u pročišćenoj otpadnoj vodi, što predstavlja ukupnu učinkovitost uklanjanja 93,8 % do 99,8 %. Zbog malog broja publikacija koje količinu mikroplastike izražavaju u masenom udjelu, usporedba broja mikroplastike među studijama temeljila se i na broju čestica po litri. Čestice mikroplastike pronađene su u dotocima na razinama od 1,01 do 31 400 čestica/l te u tretiranim otpadnim vodama u iznosu od 0,004 do 447 čestica/l, s velikom varijacijom uklanjanja čestica mikroplastike od 10,2 % do 99,9 %. Preliminarni i primarni tretmani doprinose uklanjanju mikroplastike, dok učinkovitost sekundarnog i tercijarnog tretmana uvelike ovisi o primijenjenim tehnikama. Dezinfekcija ima relativno velik potencijal za razgradnju mikroplastike u čestice manje veličine. U postrojenjima za pripremu pitke vode čestice mikropla-

stike u sirovoj vodi bile su u rasponu od 1 do 6614 čestica/l, a 1 do 930 čestica/l pronađeno je u pročišćenoj vodi, što predstavlja ukupnu učinkovitost uklanjanja od 66,9 do 100 % bez obzira na vrstu obrade.

Na kraju se zaključuje da se o postupcima uklanjanja mikroplastike u postrojenjima za pripremu pitke vode vrlo malo zna i da bi ih se trebalo dodatno istražiti. Iako su objavljene mnoge studije o postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda, mnoga pitanja tek trebaju biti riješena. Daljnja istraživanja su opravdana naročito u pogledu standardizacije analitičkih metoda i mehanizama uklanjanja mikroplastike u postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda i postrojenjima za pripremu pitke vode.



**Slika 2** – a) Nogometno igralište s umjetnom travom i mljevenom gumom koja se upotrebljava za amortiziranje. b) Mikroplastika s istog nogometnog igrališta, isprana kišom, pronađena je u prirodi blizu potoka. Mikroplastika je predmet istraživanja i dobiva veću pozornost od makroplastike i mezoplastike. Mikroplastika se može kategorizirati prema obliku, boji i vrsti polimera. Međutim, nije uspostavljena standardizirana klasifikacija mikroplastike. Mikroplastika je klasificirana kao primarna ili sekundarna mikroplastika. Primarna mikroplastika namjerno se proizvodi za različite primjene, dok je sekundarna mikroplastika nastala razgradnjom većih komada plastike (izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microplastics>).

Chem. Eng. J. 410 (2021) 128381

L. Sellaoui, M. Badawi, A. Monari, T. Tatarчук, S. Jemli, G. L. Dotto, A. Bonilla-Petriciolet, Z. Chen

### Očistite i učinite sigurnim: pregled postupaka uklanjanja virusa putem adsorpcije

(Make it clean, make it safe: A review on virus elimination via adsorption)

Virusi su prisutni u skoro svakom ekosustavu na Zemlji i oni su najrasprostranjeniji tip biološkog entiteta. Izučavanjem virusa bavi se virologija, koja je područje unutar mikrobiologije. Virusi su sveprisutni u prirodi, pa su zato njihove interakcije s višim organizmima i ljudskim bićima vrlo česte. Općenito, genetska raznolikost virusa, njihova sposobnost promjene i prilagodbe, kao i njihova značajna prisutnost u prirodi su iznimni. Procjenjuje se da je ukupan broj virusnih čestica znatno veći od broja stanica svih organizama na Zemlji zajedno.

U posljednje vrijeme, zbog pandemije COVID-19 pažnju cijelog svijeta zaokupile su moguće opasnosti od prijenosa virusne infekcije putem vode i zraka. Izbijanje opasnih infekcija uzrokovanih nepoznatim patogenima i izolacija novih sojeva virusa zahtijevaju razvoj poboljšanih metoda inaktivacije vi-

rusa. Virusi nisu stabilni samoodrživi živi organizmi, već se brzo inaktiviraju na izoliranim površinama. Međutim, vodeni okoliš i zrak mogu sudjelovati u širenju, stabilizaciji i prijenosu patogena. Inaktivacija i eliminacija virusa postupcima koji uključuju adsorpciju važni su jer predstavljaju učinkovitu i jeftinu metodu za obradu kapljevina, a time i ograničavaju širenje uzročnika bolesti.

U ovome radu opisana je interakcija između virusa i poroznih materijala na osnovi ugljika i kisika te nekih bioloških materijala (npr. sulfatnih polisaharida i ciklodekstrina). Pokazano je da navedeni adsorbensi mogu odigrati važnu ulogu u uklanjanju virusa gdje se pročišćavanje vode i zraka događa uglavnom elektrostatskim interakcijama. Međutim, još uvijek nedostaje jasna sustavna vizija korelacije između površinskog potencijala i adsorpcijske sposobnosti različitih filtara, te bi ju trebalo osigurati radi boljeg razumijevanja globalnog fenomena. Racionalizacija adsorpcijskog kapaciteta može se postići odgovarajućom fizikalno-kemijskom karakterizacijom novih adsorbentata, uključujući molekularno modeliranje i simulacije, a uzimajući u obzir i adsorpciju čestica sličnih virusu na njihovoj površini.

Chem. Eng. J. 412 (2021) 128682



**Slika 3** – Transmisijska elektronska mikrofografija više bakteriofaga pričvršćenih na staničnu stijenku bakterije; povećanje je približno 200 000 puta (izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Phage.jpg>). Autor: Dr. Graham Beards.

Virus (lat. *virus*: otrov) je definiran kao nestanični zarazni uzročnik bolesti u ljudi, životinja i biljaka, a još uvijek se raspravlja o temeljnom pitanju može li se klasificirati kao živi organizmi ili ne. Danas je poznato samo 6000 virusa, dok postoji nekoliko milijuna virusnih sojeva. Iznimna raznolikost virusnih populacija povezana je i s problemima s kojima se susrećemo pri iskorjenjivanju virusa i raznim prijetnjama po javno zdravlje. Viruse je posebno teško ukloniti jer se neprestano razvijaju pod pritiskom prirodne selekcije, što im omogućuje da se suprotstave zaštiti koju nude cjepiva ili posebno ciljani lijekovi.

Gotovo svi poznati virusi imaju svoju specifičnu metu u živom organizmu. To podrazumijeva postojanje specifičnog receptora na površini stanice gdje se virus veže radi ulaska u stanicu. Poželjni virusni receptori također određuju tipove stanica koji će najvjerojatnije patiti od infekcije.

Prijenos virusa uglavnom se postiže izbacivanjem čestica virusa tjelesnom tekućinom ili disanjem te naknadnim kontaktom s drugim organizmima. Zbog specifičnosti receptora, prijenos virusa uglavnom se događa između organizama iste ili blisko povezane vrste. Međutim, sposobnost mutacije virusa također može dovesti do zoonoze, tj. prevladavanja međuvrsne barijere, pri tome uvelike olakšavajući prijenos i zarazne sposobnosti. Upravo zbog toga zoonoza se obično prepoznaje kao ključni korak u ranom razvoju nekontroliranih epidemija.

## ORGANSKA KEMIJSKA INDUSTRIJA

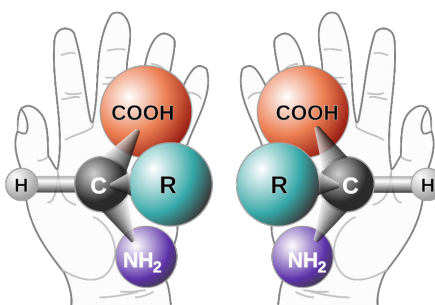
T. Liu, Z. Li, J. Wang, J. Chen, M. Guan, H. Qiu  
**Čvrste membrane za razdvajanje kiralnih spojeva:**  
**Pregled**

(Solid membranes for chiral separation: A review)

Kiralni izomeri dva su spoja iste molekularne formule, ali različite prostorne strukture, koje je teško odvojiti i pročistiti zbog gotovo identičnih fizikalnih i kemijskih svojstava. Kiralni spojevi naširoko se upotrebljavaju u lijekovima te kliničkim i drugim područjima. Njihovi različiti enantiomeri imaju vrlo različite farmakološke aktivnosti, metaboličke učinke i toksičnosti, pa čak i suprotne učinke. Većina lijekova koji se svakodnevno upotrebljavaju su kiralni spojevi i postoje u obliku racemičnih smjesa, pa je razdvajanje enantiomera uvijek bilo važno zbog njihovih sličnih kemijskih svojstava, ali različitih farmakoloških aktivnosti. Mnoge klasične tehnologije, poput kiralne sinteze i kromatografskih odvajanja, naširoko su primijenjene za selektivno razdvajanje kiralnih spojeva. Membranski separacijski postupci bez promjene faza i dodataka aditiva, kao



**Slika 4** – Vladimir Prelog bio je hrvatski kemičar, dobitnik Nobelove nagrade za kemiju 1975. godine, koji je znatno pridonio razumijevanju stereoizomerije i s britanskim kemičarima R. S. Cahnom i C. K. Ingoldom razvio opći sustav označavanja kiralnih molekula. Kiralnost je svojstvo koje se očituje u nemogućnosti da se tijelo ili molekula poklope s vlastitom zrcalnom slikom. Takav je npr. odnos lijeve i desne ruke, odnosno dlana. U kemiji se kiralnost najčešće odnosi na molekule organskih spojeva koje sadrže asimetrični ugljikov atom kao središte kiralnosti (izvor: <https://hr.wikipedia.org/>).



nov, jednostavan, visoko-účinkovit način separacije kiralnih spojeva s niskom potrošnjom energije i kontinuiranim postupkom automatizacije ima velik potencijal u području separacije kiralnih spojeva. U svijetu su započela istraživanja s različitim membranama temeljenim na polimerima, ugljikovim nanomaterijalima, metalo-organskim mrežama (engl. *metal-organic framework*, MOF) i nekim drugim anorganskim materijalima. U ovome radu dan je pregled novih čvrstih membrana od 2016. do 2020. godine, a prednosti i nedostaci s kojima se takvi materijali suočavaju sažeti su i sustavno raspravljani.

Prijavljene metode razdvajanja kiralnih spojeva uključuju kemijsko, biološko, kristalizacijsko, mehaničko, membransko i kromatografsko razdvajanje. Među njima, membransko razdvajanje bez promjene faza i dodatka aditiva nova je tehnologija, koja u usporedbi s tradicionalnim metodama razdvajanje, poput kromatografije, ima sljedeće karakteristike: (1) visoku učinkovitost i veliku točnost razdvajanje; (2) nisku potrošnju energije; (3) jednostavnu pripremu i prikladan rad koji se može provesti na sobnoj temperaturi; (4) proces razdvajanja nema fazne promjene i nema zagađenja; (5) uređaj za razdvajanje je jednostavan i može se upotrebljavati kontinuirano; (6) može se upotrebljavati u industrijskom razvoju.