



10. MEMORIJALNI NAUČNI SKUP IZ ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE
„DOCENT DR MILENA DALMACIJA“
30. - 31.03.2023.

KNJIGA RADOVA



Organizatori



Univerzitet u Novom Sadu

Prirodno-matematički fakultet



**Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu
životne sredine**

Департман за
ХЕМИЈУ, БИОХЕМИЈУ И
ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Fondacija "Docent dr Milena Dalmacija"



KNJIGA RADOVA

IZDAVAČ

GLAVNI UREDNIK

10. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine
„Docent dr Milena Dalmacija“
Prirodno-matematički fakultet, UNS
dr Đurđa Kerkez, dr Dunja Rađenović,
dr Dragana Tomašević Pilipović

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

502.17(082)

МЕМОРИЈАЛНИ научни skup из заштите животне средине "Доцент др Милена Далмација" (10 ; 2023 ; Нови Сад)

Knjiga radova [Elektronski izvor] / 10. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine "Docent dr Milena Dalmacija", 30. - 31.03.2023, Novi Sad ; [glavni urednik Đurđa Kerkez, Dunja Rađenović, Dragana Tomašević Pilipović]. - Novi Sad : Prirodno-matematički fakultet, 2023. - 1 elektronski optički disk (CD ROM) ; 12 cm

Nasl. sa naslovnog ekrana. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7031-623-2

a) Животна средина -- Заштита -- Зборници

COBISS.SR-ID 112515593



Naučni odbor:

- dr Miladin Gligorić, redovni profesor u penziji, Tehnološki fakultet Zvornik, Univerzitet u Istočnom Sarajevu
- dr Olga Petrović, redovna profesorka PMF u penziji, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Jasmina Agbaba, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Srđan Rončević, redovni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dragan Radnović, redovni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dušan Mrđa, redovni profesor PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Milena Bečelić-Tomin, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Miljana Prica, redovna profesorka, FTN, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Snežana Maletić, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dejan Krčmar, redovni profesor PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Aleksandra Tubić, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu

Organizacioni odbor:

- dr Đurđa Kerkez, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dragana Tomašević Pilipović, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Anita Leovac Mačerak, docentkinja, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Jelena Beljin, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Marijana Kragulj Isakovski, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Vesna Pešić, docentkinja, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dunja Rađenović, naučna saradnica, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Aleksandra Kulić Mandić, istraživač-saradnica, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- MSc Marija Maletin, istraživač-saradnica, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- MSc Tijana Marijanović, istraživač-pripravnik, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- Nada Popsavin, stručna saradnica za odnose sa javnošću, PMF, Univerzitet u Novom Sadu

Sekcija: Voda (V)

V-1. Milica Svetozarević, Nataša Šekuljica, Ana Dajić, Marina Mihajlović, Zorica Knežević-Jugović, Dušan Mijin: *Continuous flow for degradation of dyes. Value added utilization of potato peel*

V-2. Aleksandar Jovanović, Mladen Bugarčić, Nataša Knežević, Miroslav Sokić, Vladimir Pavićević, Aleksandar Marinković: *Prečišćavanje otpadnih voda primenom MBBR Sistema*

V-3. Jelena Šurlan, Nikola Maravić, Zita Šereš, Nataša Đurišić-Mladenović, Biljana Pajin, Dragana Šoronja-Simović: *Uklanjanje ibuprofena, diklofenaka i karbamazepina iz otpadnih voda primenom nanofiltracije*

V-4. Katarina Tošić, Sara Mijaković, Sanja Milošević Govedarović, Ana Vujačić Nikezić, Anđela Mitrović Rajić, Jasmina Grbović Novaković, Bojana Paskaš Mamula: *Prirodna ruda pirofilit kao potencijalni materijal za prečišćavanje otpadnih voda*

V-5. Anđela Mitrović Rajić, Katarina Tošić, Sara Mijaković, Sanja Milošević Govedarović, Ana Vujačić Nikezić, Bojana Paskaš Mamula, Jasmina Grbović Novaković: *Detekcija fungicida karbendazima u vodi primenom elektrode od ugljenične paste modifikovane pirofilitom*

V-6. Petar Vojnović: *Hidrogeološke karakteristike područja Cerničkog polja (Istočna Hercegovina) sa posebnim osvrtom na rizik od zagađenja podzemnih vodnih resursa*

V-7. Marija Janković, Nataša Sarap, Vojislav Stanić, Jelena Krneta Nikolić, Milica Rajačić, Ivana Vukanac, Marija Šljivić-Ivanović: *Kontrola kvaliteta gasnog proporcionalnog brojača – radioaktivnost u vodama*

V-8. Aleksandra Adamović, Mirjana Petronijević, Sanja Panić, Dragan Cvetković: *Primena biougla kao adsorbenta za uklanjanje industrijskih boja iz otpadne vode*

V-9. Senka Ždero, Milica Ilić, Bojan Srđević, Zorica Srđević: *Analiza uticaja različitih strategija alokacije vodnih resursa na kvalitet pružanja ekosistemskih usluga*

Sekcija: Vazduh (Va)

Va-1. Filip Arnaut, Vesna Cvetkov, Dragana Đurić: *Prognoziranje iznadprosečnih vrednosti kvaliteta vazduha u Novom Sadu korišćenjem Random Forest modela*

Va-2. Radmila Lišanin, Čedo Lalović: *Modelovanje atmosferske disperzije mikropolutanata*

UKLANJANJE IBUPROFENA, DIKLOFENAKA I KARBAMAZEPINA IZ OTPADNIH VODA PRIMENOM NANOFILTRACIJE

Jelena Šurlan¹, Nikola Maravić², Zita Šereš², Nataša Đurišić-Mladenović², Biljana Pajin², Dragana Šoronja-Simović²

¹*Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, jelena.surlan@uns.ac.rs*

²*Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad*

Izvod

Emergentni mikrokontaminanti zbog svog negativnog uticaja na ljudsko zdravlje i životnu sredinu, predstavljaju centar raznih istraživanja koja se bave njihovom identifikacijom u vodenim sistemima, kao i metodama njihovog uklanjanja. Neefikasni tretmani otpadnih voda su doveli do prisustva emergentnih mikrokontaminanata, kao što su farmaceutici, u površinskim i podzemnim vodama, dok su pojedini detektovani i u vodi za piće. Značajno povećana upotreba farmaceutika je dovela do njihovog povećanog prisustva u vodenim sistemima. Karbamazepin, ibuprofen i diklofenak spadaju u najviše korišćene farmaceutike, te su stoga i među najviše rasprostranjenim i najčešće ispitivanim farmaceuticima. Poslednjih decenija se velika pažnja posvećuje metodama, prvenstveno membranskim filtracijama, za uklanjanje farmaceutika i drugih emergentnih mikrokontaminanata. Nanofiltracija se pokazala kao efikasna u uklanjanju emergentnih mikrokontaminanata iz različitih vodenih sistema, uključujući i pomenute široko rasprostranjene farmaceutike. U radu je dat kratak pregled dosadašnje literature o karakteristikama i rasprostranjenosti ibuprofena, karbamazepina i diklofenaka u vodenoj sredini, kao i primeni nanofiltracije u uklanjanju pomenutih farmaceutika iz otpadnih voda.

Ključne reči: nanofiltracija, otpadne vode, karbamazepin, ibuprofen, diklofenak

Uvod

U vodenoj sredini se sve češće mogu pronaći emergentni mikrokontaminanti i njihovi metaboliti, koji predstavljaju značajan rizik za životnu sredinu i ljudsko zdravlje [1,2,3]. U emergentne mikrokontaminante spadaju farmaceutici, pesticidi, sintetički i prirodni hormoni, aditivi, plastifikatori, supresori plamena, kao i proizvodi za ličnu higijenu [4]. Farmaceutici su različita organska jedinjenja koja su, zbog svoje široke upotrebe, često detektovana u vodenim sistemima. Štetan uticaj farmaceutika na životnu sredinu je posledica njihovog nepotpunog metabolizovanja u organizmu, kao i široke i učestale primene, stoga se u životnoj sredini mogu pronaći u prvobitnom obliku ili kao aktivni metaboliti prvobitne komponente [5]. Zbog svoje široke upotrebe, među najčešće detektovanim farmaceuticima su ibuprofen, diklofenak i karbamazepin. Njihova česta detekcija u prethodno prečišćenim otpadnim vodama je ukazala na neefikasnost trenutnih tehnika prečišćavanja u uklanjanju farmaceutika, stoga se teži razvijanju novih tehnika i metoda za njihovo uklanjanje [6]. Različitim metodama, kao što su membranske filtracije, tretmani aktivnim muljem, ozoniranje i napredni oksidacioni procesi, se posvećuje sve više pažnje u cilju uklanjanja farmaceutika iz vodenih sredina [4]. Istraživanja su pokazala veliku efikasnost nanofiltracije u uklanjanju farmaceutika i drugih emergentnih mikrokontaminanata. S obzirom na

veliki potencijal nanofiltracije kao metode za uklanjanje farmaceutika, kao i na široku rasprostranjenost ibuprofena, karbamazepina i diklofenaka, cilj ovog rada je pregled postojeće literature o karakteristikama i rasprostranjenosti pomenutih farmaceutika, kao i upotrebi nanofiltracije za njihovo uklanjanje iz otpadnih voda.

Farmaceutici

Poslednjih decenija je značajno porasla proizvodnja farmaceutika, a time je i njihovo prisustvo u vodenim sredinama. U farmaceutike spadaju analgetici, antiepileptici, sintetički hormoni, antimikrobi, protivupalni lekovi itd. [7]. Smatraju se emergentnim mikrokontaminantima zbog negativnog uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi. Trenutno dostupni postupci prečišćavanja otpadnih voda ne mogu efikasno ukloniti farmaceutike, stoga se oni često pronalaze u vodenim sredinama u prvobitnom stanju ili dodatno izmenjeni. Za najveći izvor farmaceutika se smatraju pogoni za prečišćavanje voda, dok se između 30 i 90% konzumiranih farmaceutika u vodenim sredinama nalazi kao aktivni metaboliti originalne komponente [8]. Važnim izvorima farmaceutika se takođe smatraju i veterinarske ustanove i bolnice, kao i lekovi sa isteklim rokom trajanja. Među najviše korišćenim i najčešće detektovanim farmaceuticima se nalaze ibuprofen, karbamazepin i diklofenak [9]. U tabeli 1. je prikazana rasprostranjenost ova tri farmaceutika i efikasnost njihovog uklanjanja tradicionalnim tretmanima otpadnih voda.

Tabela 1. Rasprostranjenost i efikasnost uklanjanja ibuprofena, karbamazepina i diklofenaka tradicionalnim tretmanima otpadnih voda [10]

Naziv farmaceutika	Područja detekcije	Količina farmaceutika na ulazu ($\mu\text{g/L}$)	Količina farmaceutika na izlazu ($\mu\text{g/L}$)	Efikasnost uklanjanja (%)
Ibuprofen	Kina, Evropska unija, Grčka, Koreja, Švedska, Velika Britanija, SAD, Bosna i Hercegovina, Srbija, Hrvatska	<0,004 – 603	do 55	72 – 100
Karbamazepin	Kina, Evropska unija, Grčka, Koreja, Španija, Velika Britanija, Bosna i Hercegovina, Srbija, Hrvatska	<0,04 – 3,78	<0,005 – 4,60	<0 – 62,3
Diklofenak	Evropska unija, Grčka, Koreja, Velika Britanija, Švedska, Švajcarska, Bosna i Hercegovina, Srbija, Hrvatska	<0,001 – 94,2	<0,001 – 0,69	<0 – 81,4

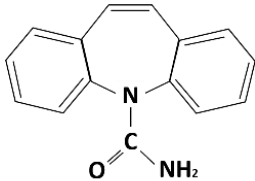
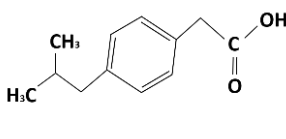
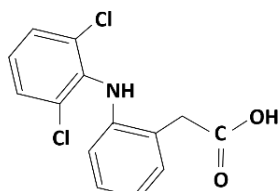
Ibuprofen, karbamazepin i diklofenak predstavljaju značajan problem za životnu sredinu zbog nedovoljno efikasnih dostupnih tretmana otpadnih voda koji se primenjuju na industrijskom nivou [11], dok se proizvodnja i upotreba pomenutih farmaceutika povećava.

Ibuprofen je antiinflamatorni lek koji predstavlja treći najviše upotrebljeni lek na svetu [12]. Čestoj upotrebi doprinosi i mogućnost kupovine ibuprofena bez recepta lekara. Smatra se emergentnim mikrokontaminantom zbog česte detekcije u vodenim sredinama, kao i negativnim uticajem na životinje i biljke [13], dok se transformisani oblik ibuprofena smatra toksičnijim u odnosu na originalnu komponentu. Najčešće se pronalazi u otpadnim vodama veterinarskih ustanova, bolnica i fabrika za proizvodnju lekova, međutim, zbog učestale upotrebe ibuprofena, metaboliti ibuprofena pronalaze put u životnu sredinu i iz domaćinstava. U životnoj sredini se često može pronaći metabolisani ibuprofen i ibuprofen sa isteklim rokom trajanja [14], dok fizičko-hemijske karakteristike ibuprofena sprečavaju mikroorganizme da ga degradiraju.

Karbamazepin je antiepileptik koji se primenjuje protiv bolova koji su povezani sa neurološkim poremećajima. Usled dugog vremenskog perioda unosa velikih doza karbamazepina (100-2000 mg dnevno), proizvodi se velika količina karbamazepina, stoga je često prisutan u životnoj sredini. Smatra se da je godišnja potrošnja karbamazepina 1014 tona [15]. Tradicionalni procesi prečišćavanja otpadnih voda nisu efikasni u uklanjanju karbamazepina, dok napredni tretmani vode za piće uklanjanju karbamazepin do 90% [16]. Pored toga, kao i ibuprofen, otporan je na biodegradaciju. Pored otpadnih voda, detektovan je i u površinskim vodama (do 1,1 µg/L) i u vodi za piće (30 ng/L) [17].

Diklofenak je antiinflamatorni lek čija je godišnja potrošnja oko 940 tona. Često je detektovan u vodenim sredinama, dok se tradicionalnim tretmanima otpadnih voda uklanja najčešće u opsegu od 21-40%. Diklofenak i njegovi metaboliti spadaju u emergentne mikrokontaminante, dok se pretpostavlja da je koncentracija prisutnih metabolita diklofenaka u vodenim sredinama slična kao koncentracija originalne komponente [15]. Karakteristike ibuprofena, diklofenaka i karbamazepina su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2. Karakteristike karbamazepina, ibuprofena i diklofenaka

Naziv farmaceutika	Karbamazepin	Ibuprofen	Diklofenak
Strukturna formula			
Formula	C ₁₅ H ₁₂ N ₂ O	C ₁₃ H ₁₈ O ₂	C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ NO ₂
Molekulska masa	236,27 g/mol	206,28 g/mol	296,16 g/mol
pKa	2.30	4.91	4.15
Naelektrisanje	Neutralan	Negativno naelektrisan	Negativno naelektrisan

Nanofiltracija ibuprofena, karbamazepina i diklofenaka

Do danas, mnogi membranski procesi su ispitivani zarad boljeg uklanjanja emergentnih mikrokontaminanata iz vode. Membranske filtracije predstavljaju jedno od važnijih rešenja u ponovnoj upotrebi otpadnih voda. Nanofiltracija se pokazala kao efikasna metoda u uklanjanju različitih mikrokontaminanata iz otpadnih voda, površinskih voda, kao i vode za piće. Uzimajući u obzir učestalost i rasprostranjenost ibuprofena, karbamazepina i diklofenaka koji su detektovani u otpadnim vodama, razna istraživanja su ispitivala efikasnost nanofiltracije u uklanjanju upravo ovih farmaceutika.

Yoon i saradnici [18] su poredili upotrebu nanofiltracije i ultrafiltracije za uklanjanje 27 farmaceutika, uključujući karbamazepin, diklofenak i ibuprofen. Za nanofiltraciju su koristili poliamidnu membranu sa graničnom molekulskom masom od 600 ± 200 Da. Nanofiltracija se pokazala efikasnija u odnosu na ultrafiltraciju u uklanjanju sva tri emergentna mikrokontaminanta. Postignuto je uklanjanje karbamazepina i ibuprofena između 40 i 50%, dok je manje od 30% diklofenaka uklonjeno pri upotrebi ove nanofiltracione membrane. Granična molekulska masa korišćene nanofiltracione membrane je značajno veća od molekulske mase sva tri farmaceutika, stoga je i njihovo uklanjanje manje u odnosu na druga istraživanja. Za razliku od Yoon i saradnika [18], Kimura i saradnici [19] su koristili poliamidnu membranu sa graničnom molekulskom masom od 200 Da, pri čemu je postignuto uklanjanje 93% diklofenaka iz rastvora u toku 24h.

Nghiem i saradnici [20] su pratili uticaj pH vrednosti rastvora na retenciju karbamazepina i ibuprofena nanofiltracionim poliamidnim membranama. Pri primenjenim pH vrednostima, karbamazepin se u rastvoru nalazio u nenaelektrisanom obliku, dok je ibuprofen bio negativno naelektrisan. Postignuto uklanjanje karbamazepina je posledica samo veličine molekula, dok su na uklanjanje ibuprofena uticale i elektrostatičke interakcije između membrane i molekula. Slične zaključke su izveli Verliefde i saradnici [21] koji su ispitivali uklanjanje karbamazepina, ibuprofena i diklofenaka sa dve poliamidne membrane (granične molekulske mase 200 Da i 150-300 Da). Postignuto je uklanjanje neutralnog karbamazepina od 80%, dok je uklanjanje negativno naelektrisanih ibuprofena i diklofenaka iznad 90%. Efikasnije uklanjanje negativno naelektrisanih molekula se smatra posledicom elektrostatičke repulzije između negativno naelektrisanih čestica i negativno naelektrisane membrane. Bellona i Drewes [22] su uočili najveću retenciju ibuprofena na pH 3, primenom dve poliamidne membrane sa graničnom molekulskom masom od 200 i 300 Da. Iste komercijalne membrane su primenjivali i Yangali-Quintanilla i saradnici [23] koji su pratili uticaj čistih i zaprljanih membrana na uklanjanje farmaceutika, uključujući i ibuprofen i karbamazepin. Postignuta je veća retencija naelektrisanog ibuprofena u odnosu na karbamazepin, dok je zaprljanost negativno uticala na uklanjanje farmaceutika. Smanjenu efikasnost uklanjanja karbamazepina zaprljanim nanofiltracionim membranama su pokazali i Azaïs i saradnici [24], dok su čistim membranama postigli retenciju iznad 80%. Razna istraživanja se bave i modifikacijom membrana radi poboljšanja efikasnosti uklanjanja emergentnih mikrokontaminanata. Kim i saradnici [25] su hemijskom modifikacijom nanofiltracionih membrana metakrilnom kiselinom postigli povećanje retencije ibuprofena od 98,1% na 99,7%.

Pored toga, Huang i saradnici [26] su ispitivali uticaj modifikacije poliamidne membrane sa polidopaminom na uklanjanje emergentnih mikrokontaminanata, uključujući i ibuprofen, diklofenak i karbamazepin. Postignuta je retencija ibuprofena i diklofenaka kao naelektrisanih čestica je iznad 99%, dok je retencija neutralnog karbamazepina iznosila 78,2%.

Zaključak

Negativan uticaj emergentnih mikokontaminanata na životnu sredinu i zdravlje ljudi je razlog zašto se sve više istraživanja posvećuje novim metodama njihovog uklanjanja. Porast upotrebe farmaceutika, prvenstveno ibuprofena, diklofenaka i karbamazepina, kao i nedovoljno efikasni tradicionalni tretmani otpadnih voda, doveli su do česte detekcije ovih farmaceutika i njihovih metabolita u vodenim sredinama. Sve više istraživanja se bavi primenom nanofiltracije u uklanjanju pomenutih emergentnih mikokontaminanata. Različita fizičko-hemijska svojstva ibuprofena, karbamazepina i diklofenaka utiču na efikasnost njihovog uklanjanja iz vode. Na efikasnost uklanjanja pomenutih farmaceutika iz vode je uticala veličina molekula, veličina pora membrana, kao i naelektrisanje molekula i membrana. Veliki procenat uklonjenih farmaceutika iz vode primenom nanofiltracije pokazuje visok potencijal upotrebe nanofiltracije u tretmanima otpadnih voda.

Zahvalnost

Finansira Evropska unija. Izneti stavovi i mišljenja su, međutim, samo autora i ne odražavaju nužno stavove Evropske unije ili Izvršne agencije EU. Za njih se ne može smatrati odgovornim ni Evropska unija ni organ koji dodeljuje sredstva. Ova studija je sprovedena u okviru projekta TwiNSol-CECs koji je dobio sredstva iz programa Horizont Evropa u okviru ugovora o grantu br. 101059867.

Literatura

- [1] Loos, R., Gawlik, B. M., Locoro, G., Rimaviciute, E., Contini, S., & Bidoglio, G. (2009). EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environmental pollution*, 157(2), 561-568.
- [2] Richardson, S. D., & Kimura, S. Y. (2016). Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical chemistry*, 88(1), 546-582.
- [3] Richardson, S. D., & Ternes, T. A. (2011). Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical chemistry*, 83(12), 4614-4648.
- [4] Rizzo, L., Malato, S., Antakyali, D., Beretsou, V. G., Đolić, M. B., Gernjak, W., ... & Fatta-Kassinos, D. (2019). Consolidated vs new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater. *Science of the Total Environment*, 655, 986-1008.
- [5] Zhang, Z., Hibberd, A., & Zhou, J. L. (2008). Analysis of emerging contaminants in sewage effluent and river water: comparison between spot and passive sampling. *Analytica chimica acta*, 607(1), 37-44.
- [6] Anumol, T., Vijayanandan, A., Park, M., Philip, L., & Snyder, S. A. (2016). Occurrence and fate of emerging trace organic chemicals in wastewater plants in Chennai, India. *Environment international*, 92, 33-42.
- [7] Grdulska, A., & Kowalik, R. (2020). Pharmaceuticals in water and wastewater—overview. *Structure and Environment*, 12(2), 79-84.

- [8] Halling-Sørensen, B. N. N. S., Nielsen, S. N., Lanzky, P. F., Ingerslev, F., Lützhøft, H. H., & Jørgensen, S. E. (1998). Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment-A review. *Chemosphere*, 36(2), 357-393.
- [9] Trombini, C., Hampel, M., & Blasco, J. (2019). Assessing the effect of human pharmaceuticals (carbamazepine, diclofenac and ibuprofen) on the marine clam *Ruditapes philippinarum*: An integrative and multibiomarker approach. *Aquatic Toxicology*, 208, 146-156.
- [10] Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., ... & Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the total environment*, 473, 619-641.
- [11] Parolini, M. (2020). Toxicity of the Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs (NSAIDs) acetylsalicylic acid, paracetamol, diclofenac, ibuprofen and naproxen towards freshwater invertebrates: A review. *Science of the Total Environment*, 740, 140043.
- [12] Marchlewicz, A., Guzik, U., & Wojcieszewska, D. (2015). Over-the-counter monocyclic non-steroidal anti-inflammatory drugs in environment—sources, risks, biodegradation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 1-13.
- [13] Jan-Roblero, J., & Cruz-Maya, J. A. (2023). Ibuprofen: Toxicology and Biodegradation of an Emerging Contaminant. *Molecules*, 28(5), 2097.
- [14] Chopra, S., & Kumar, D. (2020). Ibuprofen as an emerging organic contaminant in environment, distribution and remediation. *Heliyon*, 6(6), e04087.
- [15] Zhang, Y., Geißen, S. U., & Gal, C. (2008). Carbamazepine and diclofenac: removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere*, 73(8), 1151-1161.
- [16] Décima, M. A., Marzeddu, S., Barchiesi, M., Di Marcantonio, C., Chiavola, A., & Boni, M. R. (2021). A review on the removal of carbamazepine from aqueous solution by using activated carbon and biochar. *Sustainability*, 13(21), 11760.
- [17] Zhou, X. F., Dai, C. M., Zhang, Y. L., Surampalli, R. Y., & Zhang, T. C. (2011). A preliminary study on the occurrence and behavior of carbamazepine (CBZ) in aquatic environment of Yangtze River Delta, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173, 45-53.
- [18] Yoon, Y., Westerhoff, P., Snyder, S. A., Wert, E. C., & Yoon, J. (2007). Removal of endocrine disrupting compounds and pharmaceuticals by nanofiltration and ultrafiltration membranes. *Desalination*, 202(1-3), 16-23.
- [19] Kimura, K., Amy, G., Drewes, J. E., Heberer, T., Kim, T. U., & Watanabe, Y. (2003). Rejection of organic micropollutants (disinfection by-products, endocrine disrupting compounds, and pharmaceutically active compounds) by NF/RO membranes. *Journal of membrane science*, 227(1-2), 113-121.
- [20] Nghiem, L. D., Schäfer, A. I., & Elimelech, M. (2005). Pharmaceutical retention mechanisms by nanofiltration membranes. *Environmental science & technology*, 39(19), 7698-7705.
- [21] Verliefde, A. R., Heijman, S. G. J., Cornelissen, E. R., Amy, G., Van der Bruggen, B., & Van Dijk, J. C. (2007). Influence of electrostatic interactions on the rejection with NF and assessment of the removal efficiency during NF/GAC treatment of pharmaceutically active compounds in surface water. *Water Research*, 41(15), 3227-3240.
- [22] Bellona, C., & Drewes, J. E. (2005). The role of membrane surface charge and solute physico-chemical properties in the rejection of organic acids by NF membranes. *Journal of Membrane Science*, 249(1-2), 227-234.

- [23] Yangali-Quintanilla, V., Sadmani, A., McConville, M., Kennedy, M., & Amy, G. (2009). Rejection of pharmaceutically active compounds and endocrine disrupting compounds by clean and fouled nanofiltration membranes. *Water Research*, 43(9), 2349-2362.
- [24] Azaïs, A., Mendret, J., Gassara, S., Petit, E., Deratani, A., & Brosillon, S. (2014). Nanofiltration for wastewater reuse: counteractive effects of fouling and matrice on the rejection of pharmaceutical active compounds. *Separation and Purification Technology*, 133, 313-327.
- [25] Kim, J. H., Park, P. K., Lee, C. H., & Kwon, H. H. (2008). Surface modification of nanofiltration membranes to improve the removal of organic micro-pollutants (EDCs and PhACs) in drinking water treatment: Graft polymerization and cross-linking followed by functional group substitution. *Journal of Membrane Science*, 321(2), 190-198.
- [26] Huang, S., McDonald, J. A., Kuchel, R. P., Khan, S. J., Leslie, G., Tang, C. Y., ... & Fane, A. G. (2021). Surface modification of nanofiltration membranes to improve the removal of organic micropollutants: Linking membrane characteristics to solute transmission. *Water Research*, 203, 117520.