

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

**ПРЕДМЕТ:** Образложење теме докторске дисертације кандидаткиње Кристине Б. Касалице, мастер биохемичара, пријављене под насловом:

Утицај адсорпције, фотокатализе и микробиолошке трансформације на деградацију модела перфлуорованих једињења

**1. Научна област:** Хемија

**Ужа научна област:** Биохемија

**2. Предмет научног истраживања :**

У оквиру ове докторске дисертације планирано је испитивање могућности деградације перфлуорованих једињења помоћу различитих абиотичких и биотичких техника. Осим испитивања деградације биће испитани и механизми деградације. Настале деградационе производе је неопходно испитати структурно-инструменталним методама и истовремено проверити њихов утицај на животну средину кроз серију стандардних екотоксиколошких тестова.

**3. Основне хипотезе**

Људи су данас више него икада у својој историји изложени једињењима које природа није створила. Тим једињењима припадају пер- и полифлуороалкил супстанце (ПФАС), која због своје постојаности и токсичности, постају проблем глобалне забринутости.

Развој и широка употреба ПФАС-а проистиче из великог спектра корисних и тешко поновљивих физичко-хемијских карактеристика, укључујући отпорност на топлоту, ниско трење, хидрофобност, олеофобност и јединствена диелектрична својства. ПФАС једињења се користе за стварање нелепљивих или водоотпорних премаза на кухињском посуђу, водоотпорној одећи, намештају, амбалажи за паковање хране, као и многим другим

производима који човеку олакшавају свакодневицу (Glüge *et al.*, 2020). Због разноликих примена, постојаности и токсичности, ПФАС једињења у протеклих двадесетак година почињу да изазивају забринутост (Kemper *et al.*, 2024). Овоме су допринела бројна истраживања која доводе у корелацију изложеност овим једињењима са смањеном плодношћу, болестима бубрега, канцера, обољења штитне жлезде и многих других (Sunderland *et al.*, 2019).

ПФАС једињења доспевају у животну средину коришћењем и одлагањем робе широке потрошње, као и на индустријским локацијама где се ова једињења производе (Sunderland *et al.*, 2019). ПФАС супстанце такође могу доспети директно у животну средину у већим количинама због употребе водених пена које формирају филм на местима ватрогасних обука или приликом санација насталог пожара (Adamson *et al.*, 2020). Након што доспеју у животну средину ПФАС једињења могу пронаћи свој пут до пијаћих вода и тако доспети у човечији организам (Domingo and Nadal, 2019). Поред пијаће воде, још један од многобројних начина излагања овим штетним једињењима је путем конзумације морских плодова из контаминираних вода, као и биљака и њихових плодова са плацева на којима су биле изложене ПФАС једињењима (Christensen *et al.*, 2017; Ghisi, Vameralli and Manzetti, 2019).

Због горе наведених карактеристика, неки ПФАС су наведени као дуготрајне органске загађујуће супстанце (ПОПс) у Стокхолмској конвенцији. Посебну пажњу широм света у научним и регулаторним заједницама, али и међу широм јавношћу, привукла су два ПФАС једињења, перфлуорооктанска киселина (ПФОА) и перфлуорооктансулфонска киселина (ПФОС). ПФОС, његове соли и перфлуорооктан сулфонил флуорид (ПФОСФ), наведени су 2009. године у оквиру Анекса Б Стокхолмске конвенције (UNEP, 2009). У 2019. ПФОА, њене соли и сродна једињења, наведени су као ПОПс према Анексу А Стокхолмске конвенције, са циљем елиминације (UNEP, 2019а).

На решавању питања контаминације ПФАС супстанцама се увелико ради и као најкоришћеније методе уклањања ових једињења из воде и земљишта се користе технологије филтрације (нанофилтрација, реверзна осмоза) и процеси адсорпције (гранулирани активни угаљ и јоноизмењивачке смоле) (Meegoda *et al.*, 2020). Међутим,

наведене методе су недеструктивне и помажу само при уклањању, али не и деградацији ПФАС-ова. Решење лежи у испитивању и примени како абиотичких, тако и биотичких техника ремедијације, како би уз деградацију ових једињења били корак ближи ка решењу проблема на глобалном нивоу.

#### **4. Циљ истраживања и очекивани резултати**

Научни циљ планираних истраживања је развој методе за потпуну деградацију ПФАС-ова. Да би се овај циљ остварио испитаће се различите абиотичке и биотичке технике деградације ПФОС и ПФОА који ће бити коришћени као модел једињења. Као абиотичке технике биће испитане:

- имобилизација ПФАС помоћу различитих адсорбенса као и
- фотокаталитичка метода деградације ПФАС-ова, при чему ће бити коришћени фотокатализатори на бази алуминијума, цинка, церијума и титанијума.

Када говоримо о биотичким техникама, биће испитана биоремедијација помоћу различитих конзорцијума микроорганизама као и чистих култура бактерија. Микроорганизми који имају метаболичке путеве погодне за раст на перфлуорованим једињењима ће бити изоловани и детаљно окарактерисани. Успешност процеса деградације абиотичким и биотичким техникама ће се пратити квантификацијом ових једињења течном хроматографијом, док ће производи деградације бити идентификовани нециљаном (енг. non-target) анализом течном хроматографијом спрегнутом са масеном спектрометријом високе резолуције. Како бисмо осигурали да овим методама настају једињења која су мање токсична по животну средину, њихова екотоксичност ће бити процењена стандардним екотоксиколошким тестовима.

#### **5. Методе истраживања**

Задаци докторске дисертације исказани у циљевима, захтевају коришћење следећих експерименталних техника:

- 1. методе за припрему конзорцијума микроорганизама као и изоловање чистих култура:** засејавање микроорганизама у специфичној подлози за обогаћивање (енг. enrichment) и постепено пречишћавање у циљу добијања чистих култура
- 2. микробиолошке методе за карактеризацију микроорганизама изолованих из животне средине:** морфологија (одређивањем изгледа колоније, реакције бојења по Граму, величине ћелија и облика); физиологија (присуства цитохрома ц у респираторном ланцу и ензима каталазе); биохемија (употребом комерцијалних Analytical Profile Index (API) тестова); молекуларне методе за идентификацију микроорганизама (секвенцирање гена за 16s rRNA).
- 3. методе за структурну карактеризацију фотокатализатора:**
  - XRD- Рендгенска дифрактометрија
  - DRS- Спектроскопија дифузне рефлексије
  - XPS- Рендген фотоелектронска спектроскопија
  - FE-SEM- Скенирајућа електронска микроскопија поља
- 4. структурно-инструментална метода за квантификацију ПФАС једињења и идентификацију интермедијера деградације:** Течна хроматографија високих перформанси (HPLC) са масеним спектрометром
- 5. метода квантификације флуоридних јона употребом јон-селективне електроде**
- 6. метода провере екотоксичности производа деградације:** Екотоксичност производа деградације ПФАС-ова након ремедијације ће бити испитана екотоксичним тестовима над сојем бактерије која припада врсти *Aliivibrio Fischeri* NRRL В-1117, а испитивање токсичности ће бити рађено према стандарду ISO 11348-3/2007.

## 5. Литература

Adamson, D.T. *et al.* (2020) ‘Mass-Based, Field-Scale Demonstration of PFAS Retention within AFFF-Associated Source Areas’, *Environmental Science & Technology*, 54(24), pp. 15768–15777. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04472>.

Christensen, K.Y. *et al.* (2017) ‘Perfluoroalkyl substances and fish consumption’, *Environmental Research*, 154, pp. 145–151. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.12.032>.

Domingo, J.L. and Nadal, M. (2019) ‘Human exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature’, *Environmental Research*, 177, p. 108648. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108648>.

Ghisi, R., Vamerali, T. and Manzetti, S. (2019) ‘Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review’, *Environmental Research*, 169, pp. 326–341. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.023>.

Glüge, J. *et al.* (2020) ‘An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)’, *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(12), pp. 2345–2373. Available at: <https://doi.org/10.1039/D0EM00291G>.

Kemper, J.A. *et al.* (2024) ‘Public perceptions of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): Psycho-demographic characteristics differentiating PFAS knowledge and concern’, *Journal of Cleaner Production*, 442, p. 140866. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140866>.

Meegoda, J.N. *et al.* (2020) ‘A Review of the Applications, Environmental Release, and Remediation Technologies of Per- and Polyfluoroalkyl Substances’, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), p. 8117. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph17218117>.

Sunderland, E.M. *et al.* (2019) ‘A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects’, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), pp. 131–147. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0094-1>.

UNEP SC-4/17: Listing of Perfluorooctane Sulfonic Acid, its Salts and Perfluorooctane Sulfonyl Fluoride (2009)

UNEP SC-9/12: Listing of Perfluorooctanoic Acid (PFOA), its Salts and PFOA-Related Compounds (2019 a)