

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU  
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET  
UNIVERZITET U BEOGRADU**

**Predmet:** referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Danka Aćimović, dipl. biohemičara

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, br. 35/283 od 29.08.2019. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Danke D. Aćimović pod naslovom

**„Elektrohemijska oksidacija policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz betona i procena toksičnosti produkata njihove degradacije”.**

Posle pregleda dostavljene disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa kandidatom Komisija je sačinila sledeći

**REFERAT**

**1. UVOD**

**1.1. Hronologija odobravanja i izrade doktorske disertacije**

- Školske 2010/2011. godine Danka Aćimović, dipl. biohemičar, upisala je doktorske akademske studije na Katedri za biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.
- Na zahtev Danke Aćimović, studenta doktorskih studija, a uz saglasnot mentora prof. dr Suzane Dimitrijević-Branković, Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta je usvojilo molbu o statusu mirovanja prava i obaveza školske godine 2016./2017. i 2017./2018. radi održavanja trudnoće i nege deteta do godinu dana.
- Na zahtev Danke Aćimović, studenta doktorskih studija, a uz saglasnot mentora prof. dr Suzane Dimitrijević-Branković, Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta je na sednici održanoj 28.09.2018. donelo Rešenje br. 20/152 o produženju roka za završetak doktorskih studija.
- 06.12.2018. kandidat Danke Aćimović je predložila temu doktorske disertacije pod nazivom: „Elektrohemijska oksidacija policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz betona i procena toksičnosti produkata njihove degradacije “., a Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu usvojilo je Komisiju za ocenu naučne zasnovanosti predložene teme
- 31.01.2019. na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o prihvatanju Referata Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata za izradu doktorske disertacije, a za mentore su imenovane dr Suzana Dimitrijević-Branković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta i dr Tanja Brdarić, naučni saradnik, INN “Vinča“
- 25.02.2019. na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije kandidata Danke Aćimović, dipl. biohemičara, pod nazivom „Elektrohemijska oksidacija policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz betona i procena toksičnosti produkata njihove degradacije“.
- 28.09.2019. na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Danke Aćimović pod nazivom „Elektrohemijska oksidacija

policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz betona i procena toksičnosti produkata njihove degradacije“ u sastavu: dr Suzana Dimitrijević-Branković (red. prof., TMF), dr Tanja Brdarić (naučni saradnik, INN “Vinča“), dr Aleksandra Perić-Grujić (red. prof., TMF), dr Vladimir Nikolić (viši naučni saradnik, IOFH)

### 1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, uža naučna oblast Biohemijsko inženjerstvo i biotehnologija, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Mentori ove doktorske disertacije su dr Suzana Dimitrijević-Branković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta i dr Tanja Brdarić, naučni saradnik u Institutu za nuklearne nauke “Vinča“. Mentori su na osnovu dosadašnjih objavljenih naučnih radova i iskustva kompetentni da rukovode izradom ove doktorske disertacije.

### 1.3. Biografski podaci o kandidatu

Danka D. Aćimović je rođena 05.11.1985. u Bihaću (Bosna i Hercegovina). U Zrenjaninu je završila osnovnu školu i gimnaziju prirodno-matematičkog smera. Osnovne akademske studije na Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisala je školske 2004/05, studijski program Biohemija. Diplomirala je 2010. godine na Katedri za biohemiju, čime je stekla zvanje diplomirani biohemičar.

Doktorske akademske studije je upisala školske 2010/2011. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na Katedri za biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju. U okviru doktorskih studija položila je sve ispite predviđene studijskim programom, prosečnom ocenom 9,36.

U junu 2010. godine započela je volonterski rad u Laboratoriji za fizičku hemiju, INN "Vinča" gde je avgusta, 2010. zaposlena na projektu Ministarstva za nauku Republike Srbije "Hemija jona u gasnoj fazi: fulereni i atomski klasteri" kao istraživač pripravnik. Od 2011. godine je angažovana na projektu " Funkcionalni, funkcionalizovani i usavršeni nanomaterijali " Ministarstva za nauku Republike Srbije. Zvanje istraživač saradnik stekla je 2013. godine. Istraživački rad je usmeren na kvalitativnu i kvantitativno ispitivanje prvenstveno policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAH-ova) i drugih zagađujućih jedinjenja u životnoj sredini, mogućnost njihovog uklanjanja, kao i njihov uticaj na žive organizme.

## 2. **OPIS DISERTACIJE**

### 2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Danke Aćimović pod nazivom „Elektrohemijska oksidacija policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz betona i procena toksičnosti produkata njihove degradacije“ napisana je na 119 numerisanih strana i uključuje 40 slika, 19 tabela i 201 literaturni navoda. Disertacija sadrži sledeća poglavlja: Uvod, Cilj rada, Materijal i metode, Rezultati i diskusija, Zaključak, Literatura i Prilozi. Na početku disertacije dat je rezime na srpskom i engleskom jeziku. Na kraju disertacije data je biografija kandidata, kao i potpisane izjave: o autorstvu, o istovetnosti elektronske i štampane verzije doktorske disertacije i o korišćenju. Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde za doktorsku disertaciju.

### 2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U *Uvodu* kandidat definiše predmet istraživanja-policiklične aromatične ugljovodonike, njihove toksične efekte, uslove pod kojim se degradiraju i metode za njihovo uklanjanje.

U poglavlju *Cilj rada* predstavljen je osnovni cilj disertacije i pobrojani su specifični ciljevi.

Poglavlje *Materijal i metode* sadrži detaljan opis eksperimentalnih procedura, kao pregled opreme i materijala korišćenih tokom izrade disertacije.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* obuhvata prikaz rezultata dobijenih u eksperimentalnom delu ove disertacije, njihovu analizu i diskusiju koja uključuje poređenje sa literaturnim podacima. Na samom početku prikazana je validacija metoda na hromatografu ultravisokih performansi sa fotodiodnim detektorom (UPLC-PDA) za određivanje koncentracije policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAH-ova) u betonu kako bi se osigurali što tačniji, pouzdaniji i ponovljivi rezultati. Validacija obuhvata sledeće parametre: linearnost, selektivnost, limit kvantifikacije, limit detekcije, tačnost, preciznost i mernu nesigurnost. Zatim su prikazani rezultati elektrohemijske oksidacije PAH-ova koji obuhvataju elektrohemijsku oksidaciju u laboratorijskim uslovima i *in situ* elektrohemijsku oksidaciju u betonu. Pokazano je kako koncentracija PAH-ova zavisi od vremena elektrolize i materijala elektrode, a određena je i efikasnost procesa. Potom su prikazani rezultati citotoksičnih efekata PAH-ova i njihovih produkata elektrohemijske degradacije na humanim limfocitima i eritrocitima. U okviru procene citotoksičnih efekata PAH-ova i njihovih produkata elektrohemijske degradacije prezentovani su i prodiskutovani rezultati analize mikronukleusa, proliferativnog potencijala ćelija, aktivnosti katalaze (kao parametra oksidativnog stresa) kao i određivanje količine malondialdehida.

U poglavlju *Zaključak*, sumirani su najznačajniji rezultati i saznanja proistekla iz ove doktorske disertacije.

U poglavlju *Literatura* navedeni su radovi iz oblasti istraživanja koji pokrivaju sve delove disertacije.

U poglavlju *Prilozi* prikazane su slike koje daju dodatnu potvrdu izloženim rezultatima.

### **3. OCENA DISERTACIJE**

#### **3.1. Savremenost i originalnost**

Policiklični aromatični ugljovodonici su sveprisutni zagađivači životne sredine i imaju štetan uticaj na ljude i druge žive organizme. Poslednjih decenija su sve aktuelnije teme unapređenja zaštite životne sredine, bilo razvojem novih metoda ili unapređivanjem postojećih. Do sada su ispitivani kontaminirani medijumi bili: voda, zemljište, vazduh, sedimenti i dr., ali kako je zagađenost PAH-ovima u životnoj sredini rasla, tako su se pojavili i na drugim mestima, poput betona u stambenim zgradama.

Kako se sve veća pažnja pridaje razvoju metoda za uklanjanje zagađujućih materija iz životne sredine, istraživanja u okviru doktorske disertacije su usmerena ka razvoju neinvazivne tehnike za degradaciju PAH-ova i određivanju njihove koncentracije u betonu, kao novom medijumu, o kome do sada nije pisano u literaturi.

Dodatni problem predstavljaju proizvodi degradacije policikličnih aromatičnih ugljovodonika, koji nastaju tokom prirodne transformacije ili fizičko-hemijskih tretmana za njihovo uklanjanje. Novoformirana jedinjenja često imaju izraženiji toksični uticaj na ljude i druge žive organizme u poređenju sa polaznim jedinjenjem. Zato se posebna pažnja u doktorskoj disertaciji posvećuje proceni toksičnih efekata nakon degradacije PAH-ova.

#### **3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu**

U okviru doktorske disertacije citirano je 201 literaturni navoda koji ukazuju na aktuelnost istraživanja u ispitivanoj oblasti, a većina referenci predstavlja naučne radove objavljene u vrhunskim međunarodnim časopisima u poslednjoj deceniji. Literatura obuhvata objavljene radove vezane za metode analize i uklanjanje PAH-ova iz kontaminiranih medijuma, eksperimentalne studije uticaja PAH-ova na žive organizme. Navedene reference

su korišćene tokom eksperimentalnog rada, analize i diskusije doktorske disertacije. Na osnovu pregleda literature doktorske disertacije, može se zaključiti da kandidat adekvatno poznaje oblast istraživanja kao i da prati aktuelnost istraživanja u svetu.

### 3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Tokom izrade doktorske disertacije plan istraživanja je realizovan korišćenjem odgovarajućih eksperimentalnih tehnika i savremenih analitičkih instrumentalnih metoda prema originalnim ili modifikovanim metodama iz literature, kao i adekvatnom analizom i obradom podataka.

Na uređaju Gamry PG stat 750 urađena je ciklično-voltametrijska analiza, kako bi se potvrdila oksidacija PAH-ova u vodenim rastvorima i definisao opseg potencijala u kom dolazi do oksidacije. Zatim je izvedena elektrohemijska (anodna) oksidacija smeše PAH-ova u potenciostatskom režimu. Za elektrooksidaciju PAH-ova u betonu korišćen je potenciostat modela Mastech DC Power Supply pomoću koga je zadat i održavan potencijal između fiksiranih elektroda. Praćenje koncentracije PAH-ova u betonu izvedeno je primenom novopostavljene i validirane metode na UPLC-PDA. Validacija i merna nesigurnost UPLC-PDA metode za određivanje PAH-ova u betonu urađena je prema EURACHEM and ICH laboratorijskim vodičima.

Za procenu toksičnosti elektrohemijskog tretmana određeni su citotoksični i genotoksični potencijali na limfocitima i eritrocitima periferne krvi čoveka. Testovi su obuhvatli određivanje učestalosti mikronukleusa i proliferacioniog potencijala ćelija, ispitivanje antioksidativne zaštite enzima (katalaze) kao i uticaja na oksidativni stres (određivanjem sadržaja malondialdehida) i urađeni su prema metodama iz literature. Tokom izvođenja ovih eksperimenata kandidat je koristio UV-VIS spektrofotometriju i optičku mikroskopiju. Za statističku obradu rezultata analiziranih parametara korišćeni su Student-ov T-test i linearna regresiona analiza, statistički paket "Statistika 8.0" i "Origin8".

### 3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati dobijeni u okviru ove doktorske disertacije pružaju naučnu osnovu za primenu elektrohemijske oksidacije kao metode za uklanjanje PAH-ova iz betona. Imajući u vidu težnju da se smanji zagađenje, razvoj elektrohemijske metode za uklanjanje PAH-ova u ovoj disertaciji, predstavlja izuzetan doprinos zaštiti životne sredine. Prilikom izrade disertacije razvijena je i validirana UPLC-PDA metoda za kvalitativno i kvantitativno određivanje PAH-ova u betonu, koja može da se koristi za monitoring i kontrolu kvaliteta betona tokom izgradnje objekata. Procena toksičnosti produkata degradacije PAH-ova elektrohemijskom oksidacijom omogućava uvid u bezbednost metoda po ljude.

### 3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Tokom rada na doktorskoj tezi, kao i tokom angažmana na naučnim projektima, Danka Acimović je pokazala sposobnost samostalnog kreiranja i realizacije istraživanja, samostalnog eksperimentalnog rada, korišćenju različitih tehnika i analizi i obradi rezultata, pisanja naučnih radova i korespondencije sa editorima. Na osnovu dosadašnjeg zalaganja i postignutih rezultata Komisija je mišljenja da kandidat poseduje sve kvalitete neophodne za samostalan naučno-istraživački rad.

## **4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS**

### 4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije imaju značajan naučni doprinos, pri čemu se može izdvojiti sledeće:

- razvoj metode za kvalitativno i kvantitativno određivanje PAH-ova u betonu
- razvoj elektrohemijske metode za uklanjanje PAH-ova iz betona

- praćenje toksičnosti PAH-ova i njihovih produkata degradacije tokom elektrohemijske oksidacije.

#### 4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Brojna istraživanja ukazuju da PAH-ovi imaju toksičan uticaj na ljude i druge žive organizme. Kako zagađenost PAH-ovima u životnoj sredini raste, uglavnom usled antropogenih faktora, tako su se pojavili i na drugim mestima, kao što je beton u stambenim zgradama. Cilj istraživanja doktorske disertacije je razvijanje nove, efikasne, neinvazivne metode za uklanjanje PAH-ova iz betona. Usled jednostavnosti i lake primenljivosti, elektrohemijska oksidacija se koristi za degradaciju raznih zagađivača životne sredine: organskih boja, organofosfornih pesticida, herbicida, fenola i naravno PAH-ova. U dosadašnjim istraživanjima, elektrohemijska oksidacija pokazala se kao efikasna tehnika za tretiranje kompleksnih kontaminiranih medijuma, u koje se ubraja i beton. Da bi se osigurala bezbednost metode za praktičnu primenu, posebna pažnja posvećena je proceni toksičnosti PAH-ova i njihovih produkata razgradnje nastalih tokom procesa elektrooksidacije

#### 4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Danka Aćimović je svoje rezultate potvrdila objavljivanjem radova u časopisima međunarodnog značaja kao i saopštavanjem radova na međunarodnim i nacionalnim skupovima. U okviru izrade ove doktorske disertacije kandidat je prvi autor rada objavljenog u međunarodnim časopisima izuzetnih vrednosti (M21a) i u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21), kao i dva rada saopštena na skupu međunarodnog značaja (M34).

Spisak objavljenih radova direktno proisteklih iz teze je:

##### Radovi u međunarodnim časopisima izuzetnih vrednosti (M21a)

1. **D. Aćimović**, Z. Nikolic, M. Tosic, D. Milovanovic, V. Nikolic, T. Brdaric, M. Marčeta Kaninski, Validation and uncertainty estimation of UPLC-PDA method for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in concrete, J. Hazard. Mater. 325 (2017) IF (2017) = 6,434 (ISSN 0304-3894)

##### Radovi u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

1. **D. Aćimović**, S. Karić, Ž. Nikolić, T. Brdarić, G. Tasić, M. Marčeta Kaninski, V. Nikolic., Electrochemical oxidation of the polycyclic aromatic hydrocarbons in polluted concrete of the residential buildings, Environ. Pollut. (2016) 1–7. IF (2017) = 4,358 (ISSN 0269-7491)

##### Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (M34)

1. Z. Nikolic, B. Nastasijevic, **D. Aćimovic**, T. Brdaric, G. Tasic, V. Nikolic, M. Marčeta Kaninski, Determination of PAHs content in concrete and mineral oils using UPLC/MS method, 33rd Informal Meeting on Mass Spectrometry, 2015, Szczyrk, POLAND p.120
2. **D. Aćimović**, T. Brdarić, Ž. Nikolić, B. Nastasijević, G. Tasić, V. Nikolić, M. Marčeta Kaninski., Tracking of PAHs content in construction material – concrete, 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection with international participation “EnviroChem 2015” june 09-12, 2015, Palić Book of abstracts p. 183

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega napred izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija Danke Aćimović, dipl. biohemičara, pod nazivom „Elektrohemijska oksidacija policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz betona i procena toksičnosti produkata njihove degradacije” naučno zasnovana, što je potvrđeno i objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja, prezentovanjem rezultata istraživanja na konferencijama, kao i proverom originalnosti korišćenjem softvera iThenticate. Kandidatkinja je samostalno i sistematično uradila istraživanja i analizu dobijenih rezultata.

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos ove doktorske disertacije Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću TMF-a da prihvati ovaj izveštaj i da ga, zajedno sa podnetom disertacijom Danke Aćimović, dipl. biohemičara, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

### ČLANOVI KOMISIJE:

---

dr Suzana Dimitrijević-Branković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

dr Tanja Brdarić, naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke “Vinča“

---

dr Aleksandra Perić-Grujić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

dr Vladimir Nikolić, viši naučni saradnik, Institut za opštu i fizičku hemiju u Beogradu