

**Факултет за физичку хемију**

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

\_\_\_\_\_  
(Број захтева)

Веће научних области природних наука  
(Назив већа научних области коме се захтев упућује)

\_\_\_\_\_  
(Датум)

## ЗАХТЕВ

### за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији за кандидата магистра наука који брани дисертацију према ранијим прописима

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду (Гласник Универзитета", број 162/11- пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији:

КАНДИДАТ \_\_\_\_\_ мр. физ. хем. Милутин (Милорад)Јевремовић \_\_\_\_\_  
(име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом:

"Физичкохемијска карактеризација полианилина синтетисаног у микроталасном пољу" из  
научне области "Физичка хемија"

Универзитет је дана 28.11.2013. године својим актом под бр. 02 61206-5711/2-13 МЦ дао сагласност на

предлог теме докторске дисертације која је гласила: "Физичкохемијска карактеризација полианилина синтетисаног у микроталасном пољу"

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације образована је на седници одржаној 17.07.2014. године

одлуком Факултета под бр. 842/1 од 17.07.2014. године, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1. др Драгомир Станисављевић	редовни професор	физичка хемија	Факултет за физичку хемију
2. др Марија Гиздавић- Николаидис	доцент	физичка хемија	The University of Auckland, New Zealand
3. др Љиљана Колар- Анић	редовни професор	физичка хемија	ИХТМ - Центар за катализу и хемијско инжењерство
4. др Гордана Ћирић- Марјановић	ванредни професор	физичка хемија	Факултет за физичку хемију
5. др Бранислав			ИНН

Вулевић                      научни сарадник                      физичка хемија                      "Винча"

**Напомена:** Уколико је члан Комисије у пензији, навести датум пензионисања.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **15.10.2014. године.**

**ДЕКАН ФАКУЛТЕТА**

---

**Проф. др Шћепан Миљанић**

- Прилог:**
- 1. Реферат комисије са предлогом**
  - 2. Акт Наставно-научног већа Факултета о усвајању реферата**
  - 3. Примедбе дате у току стављања реферата на увид јавности, уколико је таквих примедби било**
  - 4. Електронска верзија**

Na osnovu članova 103. i 104. Statuta Univerzitet u Beogradu - Fakulteta za fizičku hemiju, Nastavno-naučno veće Fakulteta, na I redovnoj sednici, održanoj 15.10.2014. godine, donosi sledeću

## O D L U K U

**1.-** Prihvata se pozitivni izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **mr fiz. hem. Milutina (Milorad) Jevremovića**, pod nazivom: "**Fizičko-hemijska karakterizacija polianilina sintetisanog u mikrotalasom polju**", Komisija u sastavu:

- 1) dr Dragomir Stanisavljev, redovni profesor, Fakultet za fizičku hemiju,
- 2) dr Marija Gizdavić-Nikolaidis, docent, Univerzitet u Oklandu, Novi Zeland,
- 3) dr Ljiljana Kolar-Anić, redovni profesor, Fakultet za fizičku hemiju,
- 4) dr Gordana Ćirić-Marjanović, vanredni profesor, Fakultet za fizičku hemiju,
- 5) dr Branislav Vulević, naučni saradnik, INN "Vinča".

**2.-** Univerzitet je, dana 28.11.2013. godine, svojim aktom 02 broj: 61206-5711/2-13 MC od 28.11.2013. godine, dao saglasnost na predlog teme doktorske disertacije koja je glasila: "**Fizičko-hemijska karakterizacija polianilina sintetisanog u mikrotalasom polju**", .

**3.-** Objavljeni rezultati koji čine deo doktorske disertacije:

### **Radovi objavljeni u vrhunskim međunarodnim časopisima - M21**

1. Marija R. Gizdavic-Nikolaidis, **Milutin Jevremovic**, Dragomir R. Stanisavljev, and Zoran D. Zujovic. Enhanced Microwave Synthesis: Fine-Tuning of Polyaniline Polymerization, *J. Phys. Chem. C*, **2012**, *116*, 3235-3241.
2. Marija R. Gizdavic-Nikolaidis, **Milutin Jevremovic**, M. C. Allison, Dragomir R. Stanisavljev, Graham A. Bowmaker, Zoran D. Zujovic, Self-assembly of nanostructures obtained in a microwave-assisted oxidative polymerization of aniline, *Express Polym. Lett.*, **2014**, *8 (10)*, 745-755.

### **Rad objavljen u istaknutim međunarodnim časopisima - M22**

3. **Milutin Jevremovic**, Zoran Zujovic, Dragomir Stanisavljev, Graham Bowmaker, Marija Gizdavic-Nikolaidis. Investigation of the effect of acid dopant on the physical properties of polyaniline prepared using microwave irradiation, *Current Applied Physics*, **2014**, *14*, 1201-1207.

**4.-** Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu o urađenoj doktorskoj disertaciji dostavlja se Univerzitetu u Beogradu – Veću naučnih oblasti prirodnih nauka, radi davanja saglasnosti na isti.

**5.-** Po dobijenoj saglasnosti iz tačke 2., kandidat može da pristupi odbrani doktorske disertacije.

Odbrana doktorske disertacije je javna. Datum i mesto odbrane se oglašavaju na Web lokaciji Fakulteta i oglasnoj tabli Fakulteta, najmanje tri dana pre odbrane.

Doktorska disertacija se brani pred komisijom, koja po završenoj odbrani ocenjuje kandidata, utvrđujući da je "odbranio" ili "nije odbranio" disertaciju.

**Odluku dostaviti:**

- kandidatu,
- Komisiji,
- Stručnom veću Univerziteta,
- Arhivi Fakulteta.

**D e k a n**  
**Fakulteta za fizičku hemiju**

**Prof. dr Šćepan Miljanić**

**NASTAVNO – NAUČNOM VEĆU FAKULTETA ZA FIZIČKU HEMIJU  
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**Predmet:** Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata  
Milutina Jevremovića, magistra fizičkohemijских nauka.

Odlukom Nastavno - naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju sa sednice održane 17. jula 2014. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Milutina Jevremovića, magistra fizičkohemijских nauka, pod naslovom:

**„Fizičkohemijска karakterizacija polianilina sintetisanog u mikrotalasnom polju ”**

Ova tema odobrena je Odlukom Nastavno - naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju na sednici od 14. novembra 2013. godine a saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Milutina Jevremovića dobijena je na sednici Veća naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu koja je održana 28. novembra 2013. godine. Kandidat, Milutin Jevremović, je urađenu doktorsku disertaciju predao Fakultetu za fizičku hemiju 15. jula 2014. godine.

Na osnovu pregleda i analize disertacije kandidata Milutina Jevremovića podnosimo Nastavno - naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu sledeći

**IZVEŠTAJ**

## A. Prikaz sadržaja disertacije

Doktorska disertacija Milutina Jevremovića predstavljena je na 132 strane kucanog teksta. Posle *Rezimea* na srpskom (2 strane) i engleskom jeziku (2 strane) sledi tekst organizovan u osam poglavlja: *Uvod* (5 strana), *Opšti deo* (63 strane), *Eksperiment* (9 strana), *Rezultati i diskusija* (33 strane), *Zaključak* (3 strane), *Literatura* (10 strana) i *Prilozi* (9 strana).

Disertacija sadrži 27 slika i 7 tabela u *Opštem delu*, jednu sliku i 4 tabele u *Eksperimentalnom delu* i 22 slike i 9 tabela u *Rezultatima i diskusiji*. Literatura sadrži spisak od 294 reference.

*Opšti deo* disertacije je podeljen u 5 celina. U poglavlju 2.1., koje opisuje opšte karakteristike elektroprovodnih polimera, poseban osvrt je dat na koncept dopiranja konjugovanih polimera. Poglavlje 2.2. prikazuje strukturu polianilina (PANI), forme PANI i opisuje klasičnu hemijsku i elektrohemijsku sintezu PANI, kao i mehanizam polimerizacije anilina. Opisan je uticaj pH vrednosti na sintezu PANI i način formiranja PANI nanostruktura. Poglavlje 2.3. prikazuje odgovarajuće primere najčešće korišćenih metoda koje se koriste za ispitivanje strukture, karakteristika i morfologije PANI. U poglavlju 2.4. je opisana primena mikrotalasnog zračenja u organskim sintezama. Date su opšte karakteristike mikrotalasnog zagrevanja, i objašnjeni termalni, specifični termalni i potencijalni netermalni mikrotalasni efekti. Poglavlje 2.5. prikazuje rezultate iz ranije publikovanih radova koji su se bavili sintezom PANI u mikrotalasnom polju.

U *Eksperimentalnom delu* su opisani eksperimenti klasične hemijske sinteze (KHS) i unapređene mikrotalasne sinteze (UMS) polianilina. Opisana je eksperimentalna postavka sinteze PANI koja je podeljena u četiri serije u kojima su kombinovani različiti reakcioni uslovi. Uzorci PANI su pripremani oksidacijom anilina uz upotrebu kalijum jodata ( $KJO_3$ ) i amonijumpersulfata (APS) kao oksidacionih sredstava. Sinteza je vršena u kiseljoj sredini, uz korišćenje različitih koncentracija hlorovodonične kiseline (HCl), sumporne kiseline ( $H_2SO_4$ ) i sirćetne kiseline ( $CH_3COOH$ ), kao i u baznoj sredini, korišćenjem amonijum hidroksida ( $NH_4OH$ ). Takođe, opisane su tehnike primenjene za karakterizaciju polianilina, i to: gel propusna hromatografija (GPC), skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM), UV-vis spektroskopija, infracrvena spektroskopija sa Furijevom transformacijom (FTIR), ramanska spektroskopija, elektronska paramagnetna rezonantna spektroskopija (EPR), nuklearna

magnetna rezonantna spektroskopija čvrstog stanja (SSNMR), određivanje specifične površine, merenje difrakcije X-zraka (XRD) i merenje električne provodljivosti.

U četvrtom poglavlju, pod nazivom *Rezultati i diskusija*, prikazani su i analizirani dobijeni rezultati. Prikazani su rezultati uticaja mikrotalasnog ozračivanja na prinos reakcije i na strukturu i fizičko-hemijske karakteristike sintetisanog PANI. Dati su rezultati određivanja molekularne mase uzoraka sintetisanih PANI, rezultati SEM, FTIR, ramanske i UV-vis spektroskopije, rezultati EPR i elementarne analize, SSNMR, XRD, rezultati određivanja specifične površine uzoraka i merenja provodljivosti sintetisanog PANI. Kroz svaku tehniku karakterizacije je posebno prikazan uticaj primenjene snage mikrotalasa, kao i različitih sredina (odnosno pH vrednosti) i oksidacionih sredstava na karakteristike sintetisanog PANI. Na kraju ovog poglavlja data je opšta diskusija o efektima mikrotalasa na sintezu PANI.

Rezultati doktorske disertacije i njihov značaj su sumirani u *Zaključku*.

## **B. Prikaz postignutih rezultata**

Predmet teze je sinteza i fizičko-hemijska karakterizacija PANI koji je sintetisan u polju mikrotalasa različitih primenjenih snaga. Određivanje fizičko-hemijskih karakteristika sintetisanog PANI je vršeno uz kombinovanje različitih koncentracija kiselina ili baza (različitim vrednostima pH), oksidacionih sredstava i vremena ozračivanja, uz konstantnu temperaturu ( $24 \pm 1$  °C) i definisanu snagu zračenja. Dobro definisani uslovi mikrotalasnog sinteze PANI omogućili su upoređivanje rezultata i time optimizaciju produkata sa željenim osobinama. Mikrotalarno sintetisani produkti su upoređeni sa PANI sintetisanim postupkom klasične hemijske sinteze. Cilj rada je bio da se utvrdi uticaj mikrotalasnog zračenja na sintezu PANI i da se prouči uticaj različitih parametara na prinos reakcije i fizičko-hemijske karakteristike sintetisanog PANI. Prinos reakcije za UMS uzorke PANI se kretao u opsegu 60 - 80 %. U tezi je pokazano da prinos UMS uzoraka PANI blago raste sa porastom primenjene snage mikrotalasa ukazujući da su sinteze efikasne i sa manjim primenjenim snagama. Kroz rezultate date u tezi je pokazano da mikrotalasi ubrzavaju reakciju polimerizacije.

Rezultati FTIR, UV-vis i ramanske spektroskopije su potvrdili da se UMS uzorci po svom sastavu sastoje od PANI.

Rezultati gel - propusne hromatografije (GPC) su pokazali da se pri ozračivanju sa većim snagama mikrotalasa dobijaju uzorci PANI veće molekulske mase. U isto vreme su

UMS uzorci PANI dopirani sa HCl i H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pokazali znatno višu električnu provodljivost u odnosu na KHS uzorke PANI.

Merenja specifične površine su pokazala veću specifičnu površinu za UMS uzorke PANI od KHS uzoraka.

Na osnovu rezultata elementarne analize UMS uzoraka PANI dopiranih sa HCl uz korišćenje KJO<sub>3</sub> kao oksidacionog sredstva zaključeno je da je primarni dopant hlorid (Cl<sup>-</sup>), dok je sekundarni dopant J<sub>2</sub> nastao redukcijom KJO<sub>3</sub>. Rezultati EPR su pokazali da ukupni nivo dopiranja (J<sub>3</sub><sup>-</sup> + Cl<sup>-</sup>) ima maksimum na najnižoj ispitivanoj koncentraciji HCl (0,5 M HCl) i da početno opada za obe primenjene snage mikrotalasa (8 W i 93 W) posle čega sledi porast pri daljem povećanju koncentracije HCl.

U tezi je zaključeno da koncentracija spinskih defekata mikrotkasno sintetisanih uzoraka PANI dopiranih sa HCl varira sa promenom koncentracije HCl.

Rezultati SSNMR su pokazali da su u uzorcima PANI prisutne razgranate strukture sa benzoidnim/hinoidnim segmentima, koje su karakteristične za PANI.

Iako su rendgenske linije široke zbog malih dimenzija sintetisanih čestica, rezultati XRD ukazuju na veće prisustvo organizovanih struktura (nalik kristalnim) kod UMS uzoraka PANI u odnosu na PANI sintetisan klasičnom hemijskom sintezom.

U tezi je analizom SEM mikrografa UMS uzoraka PANI dopiranih sa HCl uz prisustvo KJO<sub>3</sub> i APS potvrđeno prisustvo mešovite morfologije sa dominirajućim nanovlaknastim strukturama PANI. Prikazan je i uticaj različitih koncentracija HCl na morfologiju UMS uzoraka PANI ozračivanih sa relativno malom snagom od 8 W i najvećom korišćenom snagom od 93 W da bi se procenili efekti snage zračenja u ovim graničnim ispitivanim oblastima. Utvrđeno je da se sa povećanjem koncentracije HCl za obe primenjene snage menja i morfologija, što dovodi do uglavnom poroznih produkata koji se sastoje od struktura nalik kratkim štapićima. Analizom je utvrđeno da dalje povećanje koncentracije HCl vodi ka kompaktnijim strukturama nalik onima koje se dobijaju KHS sintezom PANI. Pri najvećim kiselostima, kod uzoraka ozračivanih snagom mikrotalasa od 93 W formiraju se izdužene vlaknaste PANI strukture. SEM mikrografi UMS uzoraka PANI dopiranih sa 0,5 - 2,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, uz APS kao oksidaciono sredstvo, su pokazali nanoporoznu/vlaknastu morfologiju sa česticama nepravilnog oblika dok je kod mikrografa KHS uzoraka PANI dopiranih sa 0,5 i 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> uočena pločasta struktura sa određenom udelom nanovlakana. SEM mikrografi UMS uzoraka PANI dobijeni korišćenjem CH<sub>3</sub>COOH, uz APS kao



oksidaciono sredstvo, su pokazali strukturu nanoštapića u vremenu reakcije od 10 min, dok su UMS uzorci PANI dobijeni u alkalnoj sredini tretirani sa  $\text{NH}_4\text{OH}$  i APS, pokazali strukturu nanosfera u vremenu reakcije od 20 min. U tezi je naglašena činjenica da se kombinovanje mikrotalasnog zagrevanja sa različitim dopantima i oksidacionim sredstvima u sintezi može iskoristiti za dobijanje samoorganizovanih nanoštapića i nanosfera PANI. Ovo može doprineti razvoju novih materijala za izradu različitih tipova senzora.

Primenjena UMS sinteza omogućuje formiranje PANI struktura na sobnim temperaturama uz dobijanje uzoraka sa razvijenom površinom i poboljšanim električnim karakteristikama. Kompleksan reakcioni mehanizam i mogućnost uticaja mikrotalasa na oksidoredukcijske procese, kao i procese rasta nanovlakana, otežavaju dublje razumevanje mikrotalasnih efekata na samu sintezu. Rezultati prikazani u tezi pokazuju da je za potpuno razumevanje mehanizma formiranja PANI pri dejstvu mikrotalasa potrebno dodatno istraživanje, ali takođe ukazuju na mogućnost upravljanja procesom u cilju efikasnijeg dobijanja proizvoda željenih karakteristika.

### C. Usporedna analiza rezultata kandidata sa rezultatima iz literature

PANI se obično sintetiše hemijskom oksidacijom anilina ili njegovih soli u kiselim vodenim sredinama sa  $\text{KJO}_3$  i APS kao najčešće korišćenim oksidacionim sredstvima. Bez obzira na veliki broj publikovanih radova o hemijskim i elektrohemijskim sintezama različitih formi polianilina kao i primeni mikrotalasa u različitim hemijskim sintezama uopšte, veoma je mali broj publikovanih radova koji objedinjavaju ove dve oblasti. Rezultati teze se baziraju na početnim istraživanjima u ovoj oblasti koja su objavljena 2010. godine: [Gizdavic-Nikolaidis, M. R., Stanisavljev, D. R., Easteal, A. J., Zujovic, Z. D. *Macromol. Rapid Commun.* 2010, 31, 657-661]. Rezultati ovih istraživanja su pokazali značajan napredak u brzini polimerizacije i prinosu kao i favorizovanje morfologije nanovlakana u odnosu na klasične sinteze.

Armes i Aldissi [Armes, S. P.; Aldissi, M. *Polymer* **1991**, 32, 2043-2048.] su istraživali klasičnu hemijsku polimerizaciju anilina na  $25\text{ }^\circ\text{C}$  koristeći  $\text{KJO}_3$  kao oksidaciono sredstvo, uz dopiranje sa HCl, u širokom opsegu eksperimentalnih uslova. U ovim eksperimentima Armes i Aldissi su dobili dobre prinose PANI, uz dovoljno dobru provodljivost (veću od  $1\text{ S cm}^{-1}$ ) pri dopiranju u opsegu koncentracija 0,5 - 2 M HCl. Niska

kiselost (0,1 M HCl) prouzrokovala je dramatično smanjenje u prinosu PANI, koncentracije sa velikom kiselošću (3 M HCl) su imale loš uticaj na provodljivost, dok je npr. koncentracija 4 M HCl imala loš uticaj i na prinos i na provodljivost. Uzorci PANI sintetisani sa 1,25 M HCl su pokazali najveću provodljivost, pa se ova koncentracija kiseline smatra najpogodnijom. Zbog te činjenice je prva serija eksperimenata u tezi urađena sa ovom koncentracijom HCl, uz upotrebu istog oksidacionog sredstva  $KJO_3$ . Za ostale serije eksperimenata, pored variranja koncentracije HCl, odabrani su i različite pH sredine korišćenjem  $H_2SO_4$ ,  $CH_3COOH$  i  $NH_4OH$ , uz uvođenje i APS kao oksidacionog sredstva koji se veoma često koristi u eksperimentima objavljenim u literaturi.

Rezultati dobijeni u ovoj tezi su poređeni sa publikovanim rezultatima velikog broja autora o klasičnoj oksidaciji anilina u zavisnosti od vremena reakcije, korišćenih oksidacionih sredstava i pri različitim pH vrednostima. Ovo je publikovano u mnogim radovima [Konyushenko, E.N., Stejskal J., Sedenková I., Trchová M., Sapurina I., Cieslar M., Prokes J. *Polym Int* **2006**, 55, 31-39.], [Stejskal J, Sapurina I, Trchová M, Konyushenko EN, Holler P. *Polymer* **2006**; 47:8253–62.], [Stejskal, J., Sapurina. I., Trchová, M., Konyushenko, E.N. *Macromolecules* **2008**, 41, 3530-3536.], [Ding HJ, Shen JY, Wan MX, Chen ZJ. *Macromol Chem Phys* **2008**; 209:864–71.], [Zhang LJ, Zujovic ZD, Peng H, Bowmaker GA, Kilmartin PA, Travas-Sejdic J. *Macromolecules* **2008**;41:8877–84.], [Laslau C., Zujovic Z. D., Zhang L. J., Bowmaker G. A., Travas-Sejdic J. *Chem Mater* **2009**; 21: 954-962.], [Huang YF, Lin CW. *Synth Met* **2009**;159:1824–30.], [Ćirić-Marjanović G, Konyushenko EN, TrchováM, Stejskal J. *Synth Met* **2008**; 158: 200-211.], [Trchová M, Sedenková I, Konyushenko EN, Stejskal J, Holler P, Ćirić - Marjanović G. *J Phys Chem B* **2006**; 110: 9461-9468.], [Zhang Z. M, Wang LQ, Deng JY, WanMX. *React Funct Polym* **2008**; 68: 1081-1087.], [Zhang LX, Zhang LJ, Wan MX. *Eur Polym J* **2008**; 44: 2040-2045.].

Rezultati prinosa i molekulskih masa UMS i KHS uzoraka PANI određenih u tezi su u saglasnosti sa ranije publikovanim radovima [Armes, S. P.; Aldissi, M. *Polymer* **1991**, 32, 2043-2048.], [Gizdavic-Nikolaidis, M. R.; Stanisavljev, D. R.; Easteal, A. J.; Zujovic, Z. D. *The Journal of Physical Chemistry C* **2010**, 114, 18790-18796.], [Gizdavic-Nikolaidis, M. R.; Stanisavljev, D. R.; Easteal, A. J.; Zujovic, Z. D. *Macromol. Rapid Commun.* **2010**, 31, 657-661.] što je dalo dobru osnovu za ispitivanje i karakterizaciju mikrotalasno sintetisanih uzoraka.

Prisustvo pločastih i nanovlaknastih struktura u sintetisanim uzorcima PANI ukazuje na dva različita mehanizma za rast čestica: a) onaj koji favorizuje unakrsno povezivanje i

grananje gde je dominantno vezivanje u *orto* položaj i b) onaj koji favorizuje izdužene strukture slične vlaknima gde preovlađuje povezivanje oligomera anilina u *para* položaj [Zujovic, Z. D.; Laslau, C.; Bowmaker, G. A.; Kilmartin, P. A.; Webber, A. L.; Brown, S. P.; Travas-Sejdic, J. *Macromolecules* **2010**, 43, 662-670.], [Zujovic, Z. D.; Laslau, C.; Travas-Sejdic, *Chem. Asian J.* **2010**, 6, 791–796.], [Z.D. Zujovic, J.B. Metson, *Langmuir* **2011**, 27, 7776-7782.], [Z.D. Zujovic, C. Laslau, J. Travas-Sejdic, *Prog. Polym. Sci.* **2010**, 25, 1403-1419.] U skladu sa ovim tumačenjima, u uzorcima PANI sintetisanim sa malom snagom od 8W prisustvo pločastih struktura prekrivenih nanovlaknima ukazuje na pojavu oba načina rasta čestica dok veća primenjena snaga mikrotalasa favorizuje unakrsno povezivanje i stvaranje pločastih struktura.

UV-vis spektri uzoraka PANI su pokazali da su u saglasnosti sa prethodno publikovanim rezultatima [Stejskal J., Kratochvil P., Radhakrishnan N. Polyaniline dispersions 2. UV-visible absorption spectra. *Synth Met* **1993**; 61:225–31.].

U literaturi je pokazano je da morfologija PANI čestica zavisi od procesa rasta i nukleacije [Kemp, N. T.; Cochrane, J. W.; Newbury, R. *Synth. Met.* **2009**, 159, 435–444.] kao i da mehanizam nukleacije i rast PANI čestica zavisi od tipa anjona [Bade, K.; Tsakova, V.; Schultze, J. W. *Electrochim. Acta* **1992**, 37, 2255–2261.]. Navedeni literaturni rezultati pokazuju da su i mehanizam polimerizacije anilina kao i proces nastanka određene morfologije dobijenog proizvoda kompleksne pojave što dodatno komplikuje tumačenje navedenih procesa pri dejstvu mikrotalasa. Predviđanje efekata mikrotalasa čak i u jednostavnim sintezama organskih i neorganskih materijala je predmet mnogih istraživanja [De la Hoz, A.; Diaz-Ortiz, A.; Moreno, A. *Chem. Soc. Rev.* **2005**, 34, 164–178], [Nand, A. V.; Ray, S.; Easteal, A. J.; Waterhouse, G. I. N.; Gizdavic-Nikolaidis, M.; Cooney, R. P.; Travas-Sejdic, J.; Kilmartin, P. A. *Synth. Met.* **2011**, 161, 1232–1237], [Antonio, C.; Deam, R. T. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2007, 9, 2976–2982.], [Jacob, J.; Chia, L. H. L.; Boey, F. Y. C. *J. Mater. Sci.* 1995, 30, 5321–5327.]. U tezi je pretpostavljeno da se uticaj mikrotalasa može očekivati i na procese nukleacije i procese rasta polimernih lanaca što je u saglasnosti sa tumačenjima Jhunga i saradnika [Jhung, S. H.; Jin, T.; Hwang, Y. K.; Chang, J.-S. *Chemistry – A European Journal* **2007**, 13, 4410-4417.].

Činjenica da se teza bavi proučavanjem sinteze PANI pri konstantom prevodjenju mikrotalase energije u toplotu čini tematiku disertacije aktuelnom kako sa praktičnog

stanovišta dobijanja produkata različitih fizičko-hemijskih karakteristika tako i za teorijska razmatranja procesa pri specifičnim neravnotežnim uslovima. Rezultati prikazani u tezi Milutina Jevremovića pokazuju da je za potpuno razumevanje mehanizma formiranja PANI pri dejstvu mikrotalasa potrebno dodatno istraživanje, ali takođe ukazuju na mogućnost upravljanja procesom u cilju efikasnijeg dobijanja proizvoda željenih karakteristika.

Objavljeni radovi koji čine deo doktorske teze

#### **Radovi objavljeni u vrhunskim međunarodnim časopisima - M21**

4. Marija R. Gizdavic-Nikolaidis, **Milutin Jevremovic**, Dragomir R. Stanisavljev, and Zoran D. Zujovic. Enhanced Microwave Synthesis: Fine-Tuning of Polyaniline Polymerization, *J. Phys. Chem. C*, **2012**, *116*, 3235-3241.
5. Marija R. Gizdavic-Nikolaidis, **Milutin Jevremovic**, M. C. Allison, Dragomir R. Stanisavljev, Graham A. Bowmaker, Zoran D. Zujovic, Self-assembly of nanostructures obtained in a microwave-assisted oxidative polymerization of aniline, *Express Polym. Lett.*, **2014**, *8 (10)*, 745-755.

#### **Rad objavljen u istaknutim međunarodnim časopisima - M22**

6. **Milutin Jevremovic**, Zoran Zujovic, Dragomir Stanisavljev, Graham Bowmaker, Marija Gizdavic-Nikolaidis. Investigation of the effect of acid dopant on the physical properties of polyaniline prepared using microwave irradiation, *Current Applied Physics*, **2014**, *14*, 1201-1207.

#### **D. Zaključak komisije**

Na osnovu prikazanog Izveštaja, može se zaključiti da rezultati kandidata Milutina Jevremovića predstavljaju originalan i značajan naučni doprinos fizičko-hemijskoj karakterizaciji polianilina dobijenog sintezom u mikrotalasnem polju. Poseban doprinos teze čini ispitivanje uticaja mikrotalasnog polja na fizičko-hemijske karakteristike sintetisanog

polianilina u zavisnosti od pH sredine i primenjenih oksidacionih sredstava. Rezultati dati u tezi doprinose efikasnijem korišćenju mikrotalasne energije u cilju bržeg dobijanja polianilina određenih karakteristika kao i dizajniranju sinteze novih materijala. Delovi teze koji su publikovani u dva vrhunska i jednom istaknutom međunarodnom časopisu ukazuju da je tema naučno zasnovana i da će otvoriti put ka novim istraživanjima u ovoj oblasti.

Na osnovu izloženog, Komisija predlaže Nastavno - naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu da rad Milutina Jevremovića, magistra fizičkohemijskih nauka, pod naslovom: „**Fizičkohemijska karakterizacija polianilina sintetisanog u mikrotalasnom polju**”, prihvati kao disertaciju za sticanje naučnog stepena doktora fizičkohemijskih nauka i odobri njenu javnu odbranu.

Beograd, \_\_\_\_\_ 2014. godine

**Članovi komisije:**

**dr Dragomir Stanisavljev, redovni profesor**  
Univerzitet u Beogradu - Fakultet za fizičku  
hemiju

---

**dr Marija Gizdavić-Nikolaidis, docent**  
The University of Auckland, New Zealand

---

**dr Ljiljana Kolar-Anić, redovni profesor**  
Univerzitet u Beogradu - Fakultet za fizičku  
hemiju

---

**dr Gordana Ćirić-Marjanović, vanredni  
profesor**  
Univerzitet u Beogradu - Fakultet za fizičku  
hemiju

---

**dr Branislav Vulević, naučni saradnik**  
Instituta za nuklearne nauke „Vinča“

