

Poštovane kolegice i kolege,

Na redovnoj sednici Nastavno-naučnog veća Hemijskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, održanoj 14.12.2017. godine izabrani smo u Komisiju za podnošenje izveštaja o oceni naučne zasnovanosti i opravdanosti predložene teme za izradu doktorske disertacije **Ivana Kojića**, master hemičara, prijavljene pod naslovom:

**„Proučavanje sinergetskog efekta ko-pirolize lignita i polietilena visoke gustine u otvorenom sistemu - petrografski i geohemijski pristup”**

Na osnovu proučene dokumentacije podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

## **I Z V E Š T A J**

### **A. Biografski podaci o kandidatu**

Ivan Kojić je rođen 1. avgusta 1987. godine u Smederevu, Republika Srbija. Školske godine 2008/2009. upisao je osnovne akademske studije na studijskom programu „Hemičar za životnu sredinu“ na Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Diplomirao je 29.08.2013. sa prosečnom ocenom 8,42 i ocenom 10 na odbrani završnog rada. Školske 2013/2014. godine upisao je master akademske studije na studijskom programu „Diplomirani hemičar-master“ na Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, koje je završio 22.09.2014. sa prosečnom ocenom 10,00 i ocenom 10 na odbrani master rada. Školske 2014/2015. godine upisao je doktorske akademske studije, studijski program „Hemija“, na Katedri za primenjenu hemiju Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Sve planom i programom predviđene ispite na doktorskim studijama položio je sa prosečnom ocenom 10,00.

Dobitnik je nagrade iz fondacije „Profesorka Mirjana Šaban“ za najbolji diplomski rad iz oblasti Organske geohemije i izuzetna dostignuća tokom celokupnih studija iz te naučne oblasti, 2014 godine.

Od marta 2015. godine zaposlen je na Inovacionom centru Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, kao istraživač-pripravnik na projektu „Geohemijska ispitivanja sedimenata - fosilna goriva i zagađivači životne sredine“, projekat br. 176006, rukovodilac prof. dr Branimir Jovančičević.

U periodu od 25.01.2016. do 04.03.2016. učestvovao je u Tempus projektu „Mreža za obrazovanje i obuku javnih laboratorija za životnu sredinu (TEMPUS-NETREL)“, projekat br. 530554-TEMPUS-1-2012-1-SK-JPHES, u pripremi materijala za kurs „Određivanje fenola i polihlorovanih alkana u vodi pomoću GH-MS“ i držanju kursa laboratorijskom osoblju na Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

## B. Objavljeni naučni radovi i saopštenja

**Ivan Kojić** se bavi naučno-istraživačkim radom iz oblasti organske geohemije i hemije životne sredine. Na međunarodnim naučnim skupovima imao je 6 saopštenja, od toga 1 štampano u celini. Neposredno iz doktorske disertacije kandidata proisteklo je 5 saopštenja (1 u celini) na skupovima međunarodnog značaja.

### Saopštenja na naučnim skupovima međunarodnog značaja štampana u celini (M<sub>33</sub>)

1. Gajica, G., Đoković, N., Mitrović, D., Kojić, I., Životić, D., Stojanović, K. (2014) Investigation of synergetic effect of co-pyrolysis of lignite and high density polyethylene (HDPE). Proceedings of the XVI Geological Meeting of the Republic of Komi. Part III. Geology and mineral resources of European North-West of the Russia, Siktivkar, Russia, April 15-17, 2014, pp. 138-140 (*na ruskom*). ISBN: 978-5-98491-053-8. Publisher: Institute of Geology Komi, Russian Academy of Sciences.

### Saopštenja na naučnim skupovima međunarodnog značaja štampana u izvodu (M<sub>34</sub>)

1. Kojić I., Gajica G., Životić D., Bechtel A., Stojanović K. (2015) Pyrolysis of lignite, HDPE, and lignite/HDPE mixture. 67<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), Potsdam, Germany, September 5-11, 2015. ICCP Program & Abstract Book, pp. 96-97.
2. Kojić I., Bechtel A., Životić D., Stojanović K. (2016) Study of the synergetic effect of co-pyrolysis of lignite lythotypes and high density polyethylene. 68<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), Houston, USA, September 18 - 23, 2016. ICCP Program & Abstract Book, pp. 77-78.
3. Šolević Knudsen T., Kojić I. (2016). Comparison of Methods for Analysis of Chlorinated Phenols in Water. 17<sup>th</sup> European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC17). Inverness, Scotland, November 30-December 2, 2016. Book of Abstract, p. 37.
4. Kojić I., Bechtel A., Životić D., Stojanović K. (2017) Co-pyrolysis of lignite and high density polyethylene – characterization of solid and liquid products. 69<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), Bucharest, Romania, September 3-9, 2017. ICCP Program & Abstract Book, pp. 96-97.
5. Kojić I., Bechtel A., Trifunović S., Stojanović K. (2017) Pyrolysis of high density polyethylene (HDPE) in the open system. 28<sup>th</sup> International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG 2017), Florence, Italy, September 17-22, 2017. Abstracts, Posters, P194 (<http://imog2017.org/wp-content/uploads/2017/04/122.pdf>).

## C. Obrazloženje teme

1. Naučna oblast: Hemija

Uža naučna oblast: Primenjena hemija – Organska geohemija

2. Predmet rada

U prijavi kandidat navodi da u toku izrade doktorske disertacije namerava da proučava uticaj polietilena visoke gustine (high density polyethylene, HDPE) na pirolizu lignita, primenom najsavremenijih petrografskih i geohemijskih metoda. Imajući u vidu da HDPE može biti izvor vodonika pri pirolizi vodonikom siromašnih supstrata, kao što je organska supstanca lignita, očekivano je da ko-piroliza lignita i HDPE rezultuje balansom u sadržaju

vodonika i ugljenika, dajući mogućnost za prednosti ko-pirolitičkog procesa. To se pre svega odnosi na porast prinosa tečnih i gasovitih proizvoda pirolize smeše lignit/HDPE u odnosu na pirolizu lignita, budući da kerogen tipa III koji dominira u lignitu ima slab potencijal za generisanje tečnih ugljovodonika, dok je za stvaranje značajnijih količina gasa potrebna viša temperatura u poređenju sa kerogenom tipa I i II. Piroliza u otvorenom sistemu je izabrana kao metoda, budući da piroliza u zatvorenom sistemu favorizuje sekundarne procese koji podrazumevaju reakcije kondenzacije, aromatizacije i rekombinacije, kao i dalje krakovanje tečnih proizvoda pirolize u gasovite.<sup>1</sup> Fundamentalni doprinos teze ogleda se u ispitivanju promena u reaktivnosti individualnih macerala lignita i zrelosti kerogena pri pirolizi sa HDPE na različitim temperaturama koje rezultuju pozitivnim sinergetskim efektom, tj. porastom prinosa tečnih i gasovitih proizvoda. Pored toga, bili bi identifikovani proizvodi degradacije pojedinih macerala u tečnom pirolizatu. Praktični cilj disertacije je unapređenje primene lignita, uz istovremeni tretman otpadnog HDPE.

Kao supstrat u ovom radu biće korišćen lignit iz polja „Smederevsko Pomoravlje“ basena Kostolac. Sinergetski efekat biće ispitan na tri litotipa lignita zemljastom, barskom i ksilitnom. U svojstvu HDPE biće upotrebljena plastična kesa za pakovanje hrane.

Temperature na kojima će pirolize biti izvođene biće određene na osnovu termogravimetrijske analize (TGA) sva tri litotipa lignita i HDPE. Na ovaj način biće proverena i čistoća plastične kese, a u tu svrhu biće urađena i njena elementarna analiza. Na osnovu podataka iz literature<sup>2</sup> pretpostavlja se da će pirolize sva tri litotipa lignita, HDPE i njihove smeše (u masenom odnosu 1:1) biti izvođene na tri temperature 400 °C, 450 °C i 500 °C. U cilju provere verodostojnosti rezultata planirano je da se piroliza svakog pojedinačnog supstrata na sve tri temperature ponovi barem 20 puta. Nakon određivanja prinosa tečnih, gasovitih i čvrstih proizvoda pirolize, eksperimentalni prinosi pirolize smeše lignit/HDPE biće upoređeni sa teorijskim (izračunatim) prinosima: (prinos lignita + prinos HDPE)/2. Na ovaj način biće ispitan intenzitet sinergetskog efekta na različitim temperaturama pirolize, kao i njegova zavisnost od litotipa lignita.

Poređenje rezultata TGA lignita, HDPE i njihove smeše trebalo bi da ukaže na promene u termičkom ponašanju lignita u prisustvu plastike, koje se pre svega tiču početne temperature razlaganja, stepena razlaganja u posmatranom temperaturnom opsegu i temperaturama koja odgovaraju maksimalnom oslobađanju isparljivih materija, odnosno maksimalnoj brzini njihovog oslobađanja. Takođe, primena TGA kuplovane sa analizom gasovitih proizvoda korišćenjem infracrvene spektroskopije sa Furijeovom (Fourier) transformacijom (FTIR) ukazaće na promene u sastavu gasova oslobođenih pirolizom smeše lignit/HDPE u odnosu na pirolizu samog lignita i HDPE.

Petrografska analiza čvrstih ostataka pirolize lignita i smeše lignit/HDPE, omogućiće da se ustanovi uticaj HDPE na intenzitet degradacije individualnih macerala iz grupa liptinita, huminita i inertinita i njihovu konverziju u tečne i gasovite proizvode. Takođe, na ovaj način biće ispitan uticaj HDPE na reaktivnost pojedinih macerala u zavisnosti od litotipa lignita. Merenje refleksije huminita na čvrstim ostacima pirolize lignita i smeše lignit/HDPE omogućiće precizno određivanje stepena zrelosti organske supstance i procenu uticaja HDPE na maturacione promene organske supstance lignita.

Elementarna analiza, maceralna analiza, određivanje toplotne moći i sadržaja pepela korišće se za karakterizaciju čvrstih proizvoda pirolize. Poređenje ovih rezultata za čvrste proizvode pirolize lignita i smeše lignit/HDPE daće odgovor na pitanje u kojoj meri ko-piroliza utiče na kvalitet, i samim tim na primenu čvrstih ostataka. Na osnovu sadržaja organskog ugljenika, sumpora, pepela i toplotne moći biće procenjena mogućnost primene čvrstih ostataka pirolize smeše lignit/HDPE za sagorevanje, dok će rezultati maceralne analize ukazati na podobnost za njihovu gasifikaciju.<sup>3</sup>

Tečni proizvodi dobijeni pirolizom lignita, HDPE i njihove smeše na različitim temperaturama biće hromatografski razdvojeni na frakcije zasićenih ugljovodonika, aromatičnih ugljovodonika i polarnih jedinjenja (u slučaju tečnog pirolizata HDPE očekuju se samo ugljovodonične frakcije). Zasićene i aromatične frakcije pirolizata lignita, HDPE i njihove smeše biće analizirane primenom gasne hromatografije sa masenom spektrometrijom (GC-MS). U pirolizatima lignita i smeše lignit/HDPE biće analizirani *n*-alkani, izoprenoidni alifatični alkani, steroidi, terpenoidi sa hopanoidnim i nehopenoidnim skeletom, alkilderivati-benzena, naftalena, fenantrena, hrizena, fluorena i dibenzofurana. Na osnovu sastava tečnih pirolizata lignita i njegove smeše sa HDPE biće procenjeno da li prisustvo HDPE utiče na poboljšanje kvaliteta tečnog proizvoda pirolize, tj. da li on može biti pandan sirove nafte ili sintetičke nafte dobijene iz uljnih šejlova. Na osnovu promena u obilnostima i raspodelama navedenih ugljovodonika, tj. vrednostima geohemijskih parametara u pirolizatima lignita i smeše lignit/HDPE biće ustanovljen uticaj HDPE na stepen maturacije organske supstance. Takođe, promene u sastavu tečnih pirolizata biće upoređene sa promenama u petrografskom sastavu lignita da bi se ustanovila povezanost između individualnih macerala i tečnih ugljovodonika koje oni generišu. Od interesa u ovoj disertaciji je i detaljno ispitivanje prinosa i sastava tečnog pirolizata samog HDPE na različitim temperaturama, budući da bi on kao ugljovodonicima bogat supstrat mogao poslužiti kao sirovina za mešanje sa sirovom naftom u rafinerijama ili kao sirovina u petrohemiji.<sup>4</sup>

U cilju razumevanja interakcija između macerala lignita i HDPE planirano je da se odredi izotopski sastav ugljenika u polaznom HDPE, čvrstim i tečnim proizvodima pirolize lignita, HDPE, i njihove smeše kao i izotopski sastav najobilnijih ugljovodonika u tečnim pirolizatima sva tri supstrata.

### 3. Naučni cilj istraživanja

Naučni cilj ove doktorske disertacije bio bi:

- a) Ispitivanje uticaja polietilena visoke gustine (HDPE) na prinos i sastav proizvoda pirolize različitih litotipova lignita
- b) Utvrđivanje promene reaktivnosti individualnih macerala lignita u prisustvu HDPE i identifikacija odgovarajućih proizvoda njihovog razlaganja u tečnom pirolizatu
- c) Utvrđivanje uticaja HDPE na stepen zrelosti organske supstance lignita
- d) Utvrđivanje mogućnosti primene tečnih proizvoda pirolize smeše lignit/HDPE kao pandana sirovoj nafti ili sintetičkoj nafti dobijenoj iz uljnih šejlova
- e) Utvrđivanje mogućnosti primene čvrstih proizvoda ko-pirolize lignit/HDPE za sagorevanje i gasifikaciju.

### 4. Metode istraživanja

Termogravimetrijska analiza (TGA) biće izvođena u temperaturnom opsegu od 30 do 900 °C uz brzinu zagrevanja 10 °C/min. TGA će biti izvedena na instrumentu Netzsch STA 449C kuplovanom sa ATI MATSON Infinity Series FTIR analizom. Na ovaj način biće proverena čistoća plastične kese koja će biti korišćena za pirolitičke eksperimente. Takođe, ovi rezultati ukazaće na opseg temperatura u kojima je razlaganje lignita i HDPE najizraženije, te će na osnovu ovih podataka biti odabrane temperature za izvođenje pirolitičkih eksperimenata na lignitu, HDPE i njihovoj smeši. U cilju provere verodostojnosti rezultata planirano je da se piroliza svakog pojedinačnog supstrata (tri litotipa lignita, HDPE i smeše sva tri litotopa lignita sa HDPE, u odnosu 1:1) na svim temperaturama ponovi barem 20 puta. Pirolize u otvorenim sistemu će biti rađene u Carbolite pirolizeru, model MTF 10/15/130, UK u inertnoj atmosferi azota na temperaturama 400, 450 i 500 °C u trajanju od 4 h uz brzinu zagrevanja 5 °C/min. TGA će biti korisna za praćenje promena u termičkom ponašanju lignita u prisustvu HDPE. Kuplovanje TGA sa FTIR analizom gasovitih proizvoda

omogućiće određivanje kvalitativnog sastava gasa koji se dobija pirolizom lignita, HDPE i njihove smeše.

Petrografske analize podrazumevaće određivanje kvantitativnog sastava huminitičkih macerala (tekstinit, ulminit, atrinit, densinit, gelinit i korpohuminit), liptinitičkih macerala (sporinit, kutinit, rezinit, suberinit, alginit, fluorinit, hlorofilinit i liptodetrinit), inertinitičkih macerala (fuzinit, semifuzinit, makrinit, funginit, sekretinit i inertodetrinit) i mineralnih materija (gline, karbonati, pirit i dr.) u čvrstim proizvodima pirolize sva tri litotipa lignita i njihovih smeša sa HDPE. Takođe biće izmerena refleksija huminita u čvrstim proizvodima pirolize lignita i smeše lignit/HDPE. Ove analize biće izvedene na Cajs Aksio Imidžer II (Zeiss Axio Imager II) mikroskopsku koji je povezan sa Diskus-Fosil (Diskus-Fossil) sistemom za merenje refleksije.

Elementarna analiza (Vario EL III CHNS/O Elemental Analyzer, Elementar Analysensysteme GmbH), određivanje toplotne moći (IKA-Calorimeter adiabatic C400) i sadržaja pepela (SRPS ISO 1171, 2014) u čvrstom proizvodu pirolize biće korišćeni za procenu njegove primenljivosti za sagorevanje, dok će maceralna analiza ukazati na primenljivost u procesu gasifikacije.

Tečni proizvodi pirolize lignita, HDPE i njihove smeše će biti razdvojeni na frakcije zasićenih ugljovodonika, aromatičnih ugljovodonika i polarnih jedinjenja, uz primenu hromatografskih tehnika (u slučaju tečnog pirolizata HDPE očekuju se samo ugljovodonične frakcije). Frakcije zasićenih i aromatičnih ugljovodonika biće analizirane primenom gasne hromatografije sa masenom spektrometrijom (GC-MS). Za ovu analizu biće korišćen gasni hromatograf Agilent 7890A GC (HP5-MS kapilarna kolona, 30 m x 0.25 mm, He noseći gas), kuplovan sa Agilent 5975C masenim detektorom. Na ovaj način biće identifikovan i kvantifikovan veliki broj jedinjenja (*n*-alkani, izoprenoidni alifatični alkani, steroidi, terpenoidi sa hopanoidnim i nehopanoidnim skeletom, alkil-derivati benzena, naftalena, fenantrena, hrizena, fluorena, dibenzofurana), i izračunat veliki broj geohemijskih parametara. Detaljna analiza sastava tečnog pirolizata lignit/HDPE dala bi odgovor na pitanje da li se ovaj proizvod može koristiti kao pandan sirovoj nafti ili sintetičkoj nafti dobijenoj iz uljnih šejlova.

U cilju potpunijeg razumevanja sinergetskog efekta ko-pirolize lignita sa HDPE biće određen izotopski sastav ugljenika u polaznom HDPE, čvrstim i tečnim proizvodima pirolize lignita, HDPE i njihove smeše. Za ovu analizu biće korišćen elementarni analizer Flash EA 2000 HT kuplovan pomoću ConFlow IV interfejsa sa Thermo-Electron Delta V Advantage Isotope Ratio masenim spektrometrom. Osim toga, biće određen izotopski sastav ugljenika najobilnijih individualnih jedinjenja u tečnim pirolizatima sva tri supstrata. Ova merenja biće izvedena na Trace GC instrumentu povezanim sa ThermoFisher DELTA-V isotope ratio masenim spektrometrom preko GC Isolink, ThermoFisher interfejsa.

## 5. Aktuelnost problematike u svetu

Strategija održivog razvoja u većini zemalja, podrazumeva unapređenje korišćenja prirodnih resursa i smanjenje zagađenja životne sredine. U velikom broju zemalja u svetu, uključujući i Republiku Srbiju lignit je značajan energetska resurs.<sup>5</sup> Međutim, primena lignita pretežno je ograničena na sagorevanje u ložištima kotlova termoelektrana. Sa druge strane, enormni porast upotrebe materijala na bazi HDPE zahteva pronalaženje rešenja za efikasan tretman ovog plastičnog otpada. Imajući u vidu da HDPE može biti izvor vodonika tokom pirolize vodonikom siromašnih supstrata, kao što je organska supstanca lignita, očekuje se da ko-piroliza lignita i HDPE rezultuje balansom u sadržaju vodonika i ugljenika, dajući mogućnost za izvesne prednosti ko-pirolitičkog procesa.<sup>6-9</sup> Takođe, poznato je da sam HDPE i čvrst proizvod njegove pirolize imaju visoku toplotnu moć, dok su ligniti ugljevi sa najnižom toplotnom moći. Međutim, upotreba HDPE i čvrstih proizvoda njegove pirolize za sagorevanje je nepodesna zbog topljenja. Smatra se da bi mešanje HDPE sa lignitom moglo

imati stabilizujući efekat na morfologiju plastičnih ostataka i sprečiti njihovo topljenje tokom sagorevanja, uz istovremeno povećanje toplotne moći, u odnosu na toplotnu moć samog lignita.<sup>10</sup>

Cilj ove doktorske disertacije je da kroz detaljno ispitivanje uticaja HDPE na pirolizu lignita omogući unapređenje primene lignita, uz istovremeni tretman otpadnog HDPE. Biće utvrđeni optimalni uslovi pirolize koji obezbeđuju najveći prinos tečnih proizvoda. Na osnovu sastava na molekulskom nivou biće procenjena mogućnost upotrebe tečnog pirolizata smeše lignit/HDPE kao pandana sirovoj nafti ili sintetičkoj nafti dobijenoj iz uljnih šejlova. Na osnovu sastava gasa biće procenjen njihov energetski potencijal. Konačno, biće ispitana i mogućnost primene čvrstih ostataka pirolize lignit/HDPE za sagorevanje i gasifikaciju.

U ovoj disertaciji bi po prvi put bila ispitana promena reaktivnosti individualnih macerala različitih litotipova lignita u prisustvu HDPE i identifikovani proizvodi njihove termičke razgradnje u tečnom pirolizatu. Takođe, na osnovu merenja refleksije huminita i vrednosti velikog broja maturacionih parametara zasnovanih na raspodeli i obilnosti *n*-alkana, izoprenoidnih alifatičnih alkana, steroida, terpenoida sa hopanoidnim i nehopenoidnim skeletom, alkil-derivata benzena, naftalena, fenantrena, hrizena, fluorena, dibenzofurana bio bi utvrđen uticaj HDPE na maturaciju organske supstance.<sup>1</sup> Ovaj podatak je od izuzetnog značaja, jer je važno da se utvrdi da li je porast prinosa tečnog pirolizata i gasa samo posledica prisustva reaktivnih, vodonikom bogatih radikala nastalih krakovanjem HDPE ili dolazi i do porasta zrelosti kerogena, što takođe doprinosi porastu njegove konverzije u tečne i gasovite proizvode.

Poslednjih nekoliko godina u svetu su izvođena slična istraživanja uticaja HDPE na pirolizu čvrstih goriva.<sup>6-9</sup> Međutim, ova istraživanja nisu podrazumevala ispitivanja promena u maceralnom sastavu uglja i termičkoj zrelosti organske supstance, i utvrđivanje molekulskog i izotopskog sastava tečnih pirolizata.

Aktuelnost ove problematike u svetu potvrđuje činjenica da je Ivan Kojić na osnovu plana i cilja svojih istraživanja dobio prestižnu austrijsku internacionalnu stipendiju „Ernst Mach“ u maksimalnom trajanju od 6 meseci i to u konkurenciji doktoranata iz celog sveta. Ovaj boravak biće realizovan u periodu od februara do avgusta 2018. godine. Pored toga, ova doktorska disertacija čini deo istraživanja u okviru bilateralnog projekta između Republike Srbije i Republike Austrije, „Unapređenje racionalne primene lignita – petrografski i geohemijski pristup” (projekat broj 451-03-01039/2015-09/05). Stoga se može zaključiti da se plan istraživanja i naučni ciljevi predložene teme doktorske teze potpuno uklapaju u trendove moderne organske geohemije.

## 6. Očekivani rezultati

Kandidat **Ivan Kojić** bi u svojoj doktorskoj tezi primenom savremenih mikroskopskih, instrumentalnih hromatografskih tehnika i izotopske analize proučavao uticaj HDPE na prinos i sastav proizvoda pirolize različitih litotipova lignita (zemljastog, barskog i ksilitnog) u cilju unapređenja primene lignita, uz istovremeni tretman otpadnog HDPE.

Na osnovu rezultata petrografske analize čvrstih ostataka pirolize lignita i smeše lignit/HDPE, i raspodele i obilnosti individualnih jedinjenja (*n*-alkana, izoprenoidnih alifatičnih alkana, steroida, terpenoida sa hopanoidnim i nehopenoidnim skeletom, alkil-derivata benzena, naftalena, fenantrena, hrizena, fluorena, dibenzofurana) u tečnim pirolizatima, kandidat će utvrditi uticaj HDPE na reaktivnost individualnih macerala i identifikovati proizvode njihove termičke degradacije. Na osnovu merenja refleksije vitrinita na čvrstim ostacima pirolize i vrednosti maturacionih parametara u tečnim proizvodima pirolize biće procenjen uticaj HDPE na stepen zrelosti organske supstance. Ovi rezultati zajedno sa rezultatima izotopskih analiza čvrstih i tečnih proizvoda pirolize lignita, HDPE,

njihove smeše, kao i individualnih jedinjenja u tečnim pirolizatima omogućiće objašnjenje sinergetskog efekta ko-pirolize.

Na osnovu sastava tečnih pirolizata lignit/HDPE na molekulskom nivou biće procenjena mogućnost njihove primene kao pandana sirovoj nafti ili sintetičkoj nafti dobijenoj iz uljnih šejlova.

Elementarna analiza, detaljna maceralna analiza, određivanje toplotne moći i sadržaja pepela u čvrstim ostacima pirolize lignit/HDPE biće korišćeni u cilju procene mogućnosti njihove primene za sagorevanje i gasifikaciju. Dodatno, petrografski sastav može da ukaže i na karakteristike meljivosti čvrstih ostataka.

## Literatura

1. Vuković N., Životić D., Mendonça Filho J.G., Kravić-Stevović T., Hámor-Vidó M., Mendonça J.O., Stojanović K. (2016) The assessment of maturation changes of humic coal organic matter – insights from closed-system pyrolysis experiments. *International Journal of Coal Geology* **154-155**, 213-239.
2. Kumar S, Singh R.K. (2011) Recovery of hydrocarbon liquid from waste high density polyethylene by thermal pyrolysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* **28**, 659-667.
3. Bielowicz B. (2013) Petrographic composition of Polish lignite and its possible use in a fluidized bed gasification process. *International Journal of Coal Geology* **116-117**, 236-246.
4. Onwudili J.A., Insura N., Williams P.T. (2009) Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor: Effects of temperature and residence time. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **86**, 293-303.
5. Reichl C., Schatz M., Zsak G. (2016) World-Mining-Data, vol. 31, Minerals Production, Vienna, *Federal Ministry of Science, Research and Economy*, Vienna, 1-248.
6. Aboulkas A., Makayssi T., Bilali L., El harfi K., Nadifiyine M., Benchanaa M. (2012) Co-pyrolysis of oil shale and plastics: Influence of pyrolysis parameters on the product yields. *Fuel Processing Technology* **96**, 209-213.
7. Matali S., Rahman N.A., Idris S.S., Alias A.B., Mohatar M.R. (2015) Co-pyrolysis and characteristics of Malaysian sub-bituminous coal and waste HDPE blends via TGA. *Jurnal Teknologi* **76**, 21-26.
8. Cai J., Wang Y., Zhou L., Huang Q. (2008) Thermogravimetric analysis and kinetics of coal/plastic blends during co-pyrolysis in nitrogen atmosphere. *Fuel Processing Technology* **89**, 21-27.
9. Melendi-Espina S., Alvarez R., Diez M.A., Casal M.D. (2015) Coal and plastic waste co-pyrolysis by thermal analysis–mass spectrometry. *Fuel Processing Technology* **137**, 351-358.
10. Wong S.L., Ngadi N., Abdullah T.A.T., Inuwa I.M. (2015) Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **50**, 1167-1180.

## D. Zaključak

Komisija smatra da predložena tema odgovara savremenim trendovima organske geohemije. Fundamentalni doprinos disertacije ogleda se u ispitivanju promena u reaktivnosti individualnih macerala različitih litotipova lignita i zrelosti kerogena pri pirolizi sa HDPE na različitim temperaturama koje rezultuju pozitivnim sinergetskim efektom, tj. porastom prinosa tečnih i gasovitih proizvoda. Praktični cilj doktorske disertacije je unapređenje primene lignita, uz istovremeni tretman otpadnog HDPE.

Rezultati ove doktorske disertacije omogućili bi:

a) Utvrđivanje uticaja polietilena visoke gustine (HDPE) na prinos i sastav proizvoda pirolize različitih litotipova lignita (zemljasti, barski i ksilitni)

- b) Utvrđivanje promene reaktivnosti individualanih macerala lignita u prisustvu HDPE i identifikaciju odgovarajućih proizvoda njihovog razlaganja u tečnom pirolizatu
- c) Utvrđivanje uticaja HDPE na stepen zrelosti organske supstance lignita
- d) Utvrđivanje mogućnosti primene tečnih proizvoda pirolize smeše lignit/HDPE kao pandana sirovoj nafti ili sintetičkoj nafti dobijenoj iz uljnih šejlova
- e) Utvrđivanje mogućnosti primene čvrstih proizvoda ko-pirolize lignit/HDPE za sagorevanje i gasifikaciju.

U skladu sa Zakonom o visokom obrazovanju i Statutom Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, smatramo da kandidat ispunjava sve predviđene uslove za odobravanje izrade doktorske disertacije.

Na osnovu svega izloženog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu da **Ivanu Kojiću**, master hemičaru, odobri izradu doktorske disertacije pod naslovom: „**Proučavanje sinergetskog efekta ko-pirolize lignita i polietilena visoke gustine u otvorenom sistemu - petrografski i geohemijski pristup**”.

Za mentora predlažemo dr Kseniju Stojanović, vanrednog profesora Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Spisak radova predloženog mentora iz kojih se vidi da ispunjava uslove iz Standarda za akreditaciju studijskih programa doktorskih studija dati su u **Prilogu**.

Komisija:

---

dr Ksenija Stojanović, vanredni profesor  
Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,  
mentor

---

dr Branimir Jovančičević, redovni profesor  
Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

---

dr Dragana Životić, vanredni profesor  
Rudarsko-geološkog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu

---

dr Marko Obradović, docent  
Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

U Beogradu,  
28.12.2017. godine



## Prilog

Radovi mentora: Ksenija Stojanović, vanredni profesor

1. Vuković N., Životić D., Mendonça Filho J.G., Kravić-Stevović T., Hámor-Vidó M., Mendonça J.O., Stojanović K. (2016) The assessment of maturation changes of humic coal organic matter – insights from closed-system pyrolysis experiments. *International Journal of Coal Geology* **154-155**, 213-239. Geosciences, Multidisciplinary (10/188); IF<sub>2016</sub> = 4,783.
2. Mitrović D., Đoković N., Životić D., Bechtel A., Šajnović A., Stojanović K. (2016) Petrographical and organic geochemical study of the Kovin lignite deposit, Serbia. *International Journal of Coal Geology* **168**, 80-107. Geosciences, Multidisciplinary (10/188); IF<sub>2016</sub> = 4,783.
3. Nytoft H.P., Vuković N.S., Kildahl-Andersen G., Rise F., Životić D.R., Stojanović K.A. (2016) Identification of a novel series of benzohopanes and its geochemical significance. *Energy & Fuels* **30**, 5563-5575. Engineering, Chemical (27/135); IF<sub>2016</sub> = 3,091.
4. Franco N., Mendonça Filho J.G., Silva T.F., Stojanović K., Fontana L.F., Carvalhal-Gomes S.B.V., Silva F.S., Furukawa G.G. (2016) Geochemical characterization of the hydrous pyrolysis products from a recent cyanobacteria-dominated microbial mat. *Geologica Acta* **14**, 385-401. Geology (27/47); IF<sub>2016</sub> = 0,860.
5. Životić D., Bechtel A., Sachsenhofer R., Gratzner R., Radić D., Obradović M., Stojanović K. (2014) Petrological and organic geochemical properties of lignite from the Kolubara and Kostolac basins, Serbia: Implication on Grindability Index. *International Journal of Coal Geology* **131**, 344-362. Geosciences, Multidisciplinary (21/175); IF<sub>2014</sub> = 3,381.