

**Predmet:** Izveštaj Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije Musbah Abduljalil M. Faraja, master hemičara

Poštovane kolegice i kolege,

Na redovnoj sednici Nastavno-naučnog veća Hemijskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, održanoj 10. 03. 2016. godine određeni smo za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije **Musbah Abduljalil M. Faraja**, master hemičara, prijavljene pod naslovom:

**„Organsko-geohemijska karakterizacija i korelacija uzoraka sirove nafte iz najznačajnijih naftnih polja basena Sirte, Libija”**

**(„Organic-geochemical characterization and correlation of crude oils samples from the most significant oil fields in the Sirte basin, Libya”)**

Komisija je doktorsku disertaciju pregledala i podnosi Nastavno-naučnom veću sledeći

## IZVEŠTAJ

### A. Prikaz sadržaja disertacije

Doktorska disertacija Musbah Abduljalil M. Faraja napisana je na engleskom jeziku i sadrži 121 stranu A4 formata (font 12, prored 1,5), podeljenog u sedam odeljaka: 1. Uvod (2 strane), 2. Teorijski deo (40 strana), 3. Geološke i petrološke karakteristike ispitivanih naftnih polja (15 strana), 4. Plan i cilj istraživanja (4 strane), 5. Eksperimentalni deo (4 strane), 6. Rezultati i diskusija (31 strana), Zaključci (2 strane) i Literatura (23 strane, 188 citata). Pored navedenog, disertacija sadrži Zahvalnicu, Rezime na srpskom i engleskom jeziku, Sadržaj i Biografiju autora. U tekstu disertacije nalazi se 33 slika i 17 tabela.

U Uvodu kandidat daje kraći osvrt na oblast istraživanja i temu svoga rada.

U Teorijskom delu kandidat je dao detaljan pregled literaturnih podataka o organskoj supstanci geosfere. U posebnim celinama obrađeni su kerogen (nerastvorna organska supstanca) i bitumen (rastvorna organska supstanca). Opisan je način postanka nafte i njene

transformacije u rezervoarskim stenama. Posebna pažnja posvećena je biomarkerima i aromatičnim jedinjenjima koji su korišćeni u interpretaciji rezultata doktorske disertacije. Objašnjen je način njihove geneze iz bioloških prekursora i dalja transformacija u geosferi. Dodatno, detaljno su nabrojana biomarkerska jedinjenja koja su konstituenti sirovih nafti. Navedene su instrumentalne metode koje se najčešće koriste za njihovu analizu i dati su primeri gasnih hromatograma. Obradeni su izvorni i maturacioni parametri koji se izračunavaju iz raspodele i obilnosti biomarkera i aromatičnih jedinjenja. Opisane su statističke metode koje su korišćene u interpretaciji rezultata ove doktorske disertacije.

U okviru poglavlja 3 opisane su Geološke i petrološke karakteristike ispitivanih naftnih polja. Detaljno je obrađena geološka i tektonska istorija basena Sirte. Priloženi su karakteristični stratigrafski preseki i detaljno su opisane karakteristike sedimenta i rezervoarskih stena iz koji su uzorkovane nafte koje su predmet istraživanja ove teze.

U poglavlju Plan i cilj istraživanja jasno su definisani zadaci i ciljevi rada na doktorskoj disertaciji i iznesen je plan rada.

U poglavlju Eksperimentalni deo kandidat je detaljno opisao sve materijale, tehnike, metode, hemikalije i reagenase koje je koristio u svom radu. Za izolovanje zasićenih i aromatičnih biomarkera iz uzoraka sirovih nafti korišćene su klasične organsko-geohemijske metode izolovanja hromatografijom na stubu adsorbensa. Za analizu brojnih individualnih biomarkera i aromatičnih jedinjenja primenjena je gasna hromatografija sa masenom spektrometrijom (GC-MS) i gasna hromatografija sa tandemskom masenom spektrometrijom (GC-MS-MS).

Poglavlje Rezultati i diskusija podeljeno je u dve celine u kojima su sistematski izloženi i detaljno prodiskutovani rezultati ove teze. Svaka od ove dve celine sadrži i nekoliko odeljaka.

U prvom poglavlju vrednosti parametara izračunatih na osnovu raspodela i obilnosti odabranih pentacikličnih terpana u sirovim naftama iz Libije i Srbije, koji su originalno dobijeni iz rezultata gasno hromatografsko – maseno spektrometrijske (GC-MS) analize upoređene su sa kvantifikacionim rezultatima koji su zasnovani na gasno hromatografsko – maseno spektrometrijsko – maseno spektrometrijskoj (GC-MS-MS) analizi. Analizirani parametri su najčešće korišćeni terpanski izvorni i maturacioni parametri, koji su primenjeni na veliku grupu uzoraka od 70 sirovih nafti, koje potiču iz pet naftnih polja. Cilj je bio da se ispita u kojoj meri se merenja odabranih parametara ovim dvema tehnikama slažu i da se odredi uticaj razlika između vrednosti ovih parametara na geohemijsku interpretaciju. U tom cilju, korišćene su dve statističke metode: koeficijent slaganja korelacija i dijagram srednja vrednost-razlika. Dobijeni rezultati pokazuju da izračunavanje  $C_{27}18\alpha(H)-22,29,30-$  trisnorneohopan / ( $C_{27}18\alpha(H)-22,29,30-$  trisnorneohopan +  $C_{27}17\alpha(H)-22,29,30-$  trisnorhopan),  $C_{29}18\alpha(H)-30-$  norneohopan /  $C_{29}17\alpha(H)21\beta(H)-30-$  norhopan i  $C_{29}17\alpha(H)21\beta(H)-30-$  norhopan /  $C_{30}17\alpha(H)21\beta(H)-$  hopan odnosa bilo GC-MS ili GC-MS-MS tehnikom ne utiče značajno na interpretaciju. S druge strane, određivanje  $C_{30}17\beta(H)21\alpha(H)-$  moretan /  $C_{30}17\alpha(H)21\beta(H)-$  hopan odnosa, gamaceranskog indeksa i oleananskog indeksa GC-MS ili GC-MS-MS tehnikom može značajno uticati na interpretaciju. Ove razlike se mogu objasniti koeluiranjem i preklapanjem pikova tokom GC-MS analize ali takođe i boljim razdvajanjem, većom preciznošću i boljom selektivnošću GC-MS-MS tehnike. Odstupanje skoro svih parametara od linije jednakosti je slično za nafte iz

istog naftnog polja ali su uočene razlike pri analizi nafte iz različitih naftnih polja. Stoga, kada se planira primena GC-MS-MS rezultata u organsko geohemijskim interpretacijama, preporučuje se i regionalna kalibracija odnosa između GC-MS i GC-MS-MS rezultata za svaki naftni sistem.

U drugom poglavlju četiri uzorka sirovih nafte iz naftnih polja Intisar A, Intisar D i Intisar E (Sirte basen, Libija) ispitivani su sa ciljem da se definiše depoziciona sredina, litologija, termička maturisanost i geološka starost njihovih izvornih stena. Zasićeni biomarkeri (n-alkani, izoprenoidi, sterani i triterpani) analizirani su gasnohromatografsko – maseno spektrometrijskom (GC-MS) i gasnohromatografsko – maseno spektrometrijsko – maseno spektrometrijskom (GC-MS-MS) metodom. Aromatični ugljovodonici (fenantren, metilfenantreni, metil-dibenzotiofeni i trimetilnaftaleni) analizirani su GC-MS metodom. Rezultati pokazuju da su sirove nafte Intisar stvorene iz izvornih stena sa visokim sadržajem glina koje su sadržale smešu marinskog i kopnenog organskog materijala. Maturacioni parametri ukazuju na visok stepen termičke maturisanosti koji odgovara glavnoj fazi stvaranja nafte. Analiza specifičnih biomarkerskih odnosa koji su pokazatelji geološke starosti ukazuje da su nafte Intisar starosti Krede (najverovatnije Donje Krede). Identifikovane su dve grupe izvornih stena nafte Intisar, slične po tipu prekursorskog organskog materijala, litologiji, maturisanosti i geološkoj starosti, ali različite po redoks uslovima u sredini tokom njihovog taloženja. Nafte koje su stvorene iz ovih izvornih stena verovatno su imale različite migracione puteve.

U poglavlju Zaključci kandidat je sistematski rezimirao zaključke koji su proistekli iz rezultata ove doktorske disertacije.

Navedena Literatura obuhvata radove iz oblasti istraživanja (188 citata) i pokriva sve delove disertacije.

## **B. Kratak opis postignutih rezultata**

Ova doktorska disertacija sastoji se od dve jasno definisane celine.

U prvom delu ove teze upoređene su vrednosti parametara izračunatih iz raspodela i obilnosti odabranih pentacikličnih terpana u sirovim naftama, dobivenih kvantifikacijom gasno hromatografsko – maseno spektrometrijskih (GC-MS) i gasno hromatografsko – maseno spektrometrijsko – maseno spektrometrijskih rezultata. Analizirani parametri su najčešće korišćeni terpani izvorni i maturacioni parametri. Rezultati su proistekli iz analiza velikog broja uzorka od 70 sirovih nafte. Korišćene su dve statističke metode: koeficijent slaganja korelacija i dijagram srednja vrednost-razlika. Analize  $T_s/(T_s+T_m)$ ,  $C_{29}T_s/C_{29}H$  i  $C_{29}H/C_{30}H$  parametara ukazale su na dobro slaganje između rezultata dobivenih GC-MS i GC-MS-MS metodama i da obe metode mogu biti korišćene ravnopravno za određivanje ovih parametara. Međutim, primećeno je da slaganje GC-MS i GC-MS-MS rezultata u analizi ovih parametara može varirati od jednog do drugog naftnog polja u znaku i/ili vrednosti. Iako je utvrđeno da su ove razlike statistički značajno različite one nisu geohemijski značajno različite jer u većini slučajeva ne bi uticale na geohemijske interpretacije. Analize  $C_{30}M/C_{30}H$  parametra, GI i OI pokazale su da je razlika između GC-MS i GC-MS-MS rezultata u analizi ovih parametara statistički i geohemijski značajna. Razlika između dva analitičke metode u

određivanju ovih parametara može značajno da utiče na geohemijske interpretacije. Zbog toga  $C_{30}M/C_{30}H$  parametar, GI i OI zahtevaju pažljivu analizu i njihova interpretacija zavisi od primenjenog analitičkog metoda.

U drugom delu ove teze organsko geohemijske karakteristike četiri uzorka sirovih nafti iz naftnog polja Intisar procenjene su na osnovu rezultata analize biomarkerskih odnosa zasićene i aromatične frakcije ugljovodonika. Ukupni alkanski hromatogrami pokazali su da Nafta Intisar nisu biodegradovane i ukazali su na značajan udeo algalne biomase u prekursorskom materijalu izvornih stena i/ili na visok stepen termičke maturisanosti. Analiza biomarkerskih odnosa koji su indikatori geološke zrelosti ukazala je da su Intisar nafte starosti Krede (najverovatnije Donje Krede). Izvorni parametri – raspodela regularnih sterana,  $C_{30}$  sterana i tricikličnih terpana, ukazali su na mešovito poreklo ovih nafti. Steranski maturacioni parametri ukazali su na visok nivo termičke maturisanosti ovih nafti koji je u skladu sa vrednostima refleksije vitritina od 0.8 – 0.9 % Ro. Brojni odnosi preuređenih sterana i terpana ukazali su da ove nafte potiču iz izvornih stena sa visokim sadržajem minerala glina ali su i potvrdili visoku maturisanost ovih nafti. Pristan/fitan odnosi svih Intisar nafti ukazali su na slične, prelazne (suboksične) uslove tokom depozicije prekursorskog organskog materijala. Međutim, analiza  $C_{35}$  homohopanskih indeksa omogućila je precizniju procenu redoks uslova tokom depozicije izvornih stena Intisar nafti. Ovi rezultati jasno ukazuju na postojanje bar dve vrste izvornih stena Intisar nafti, različitih po redoks uslovima u sredini tokom njihovog taloženja. Dodatno, prisustvo dve vrste nafti akumuliranih u različitim delovima istog naftnog polja sugerise različite migracione puteve nafti u ovom regionu.

### **C. Uporedna analiza rezultata kandidata sa rezultatima iz literature**

Jedna od naznačajnijih oblasti organske geohemije je primena geohemijskih tehnika u ispitivanju naftnih basena. Traganje za novim, kao i detaljnije ispitivanje i definisanje poznatih naftno-gasnih nalazišta širom sveta uvek je u žiži aktuelnosti. O tome svedoči i činjenica da se u organsko-geohemijskoj literaturi pored radova koji se odnose na neispitane basene i ležišta, vrlo često sreću novi radovi koji se odnose na već poznata ležišta nafte i gasa, u cilju efikasnijeg i racionalnijeg iskorišćenja preostalih rezervi nafti i/ili pronalaženja novih ležišta.

Uzorci sirovih nafti koje su ispitivane u ovoj tezi potiču iz različitih delova basena Sirte u Libiji. Basen Sirte je libijski basen koji je izuzetno bogat ugljovodonicima. U njemu postoji više od 23 velikih naftnih polja i 16 gigantskih naftnih polja. Međutim, iako je ovaj region jedno od najvećih svetskih izvorišta nafte i gasa, naučne publikacije sa organsko geohemijskom interpretacijom sirovih nafti iz ovog regiona i dalje su izuzetno retke. Rezultati proistekli iz ove doktorske disertacije mogu imati značajnu primenu u istraživanju basena Sirte ali i drugih naftnih basena.

Nafta je složena smesa velikog broja hemijskih jedinjenja, a najzastupljeniji među njima su ugljovodonici, koji čine od 95 – 98 % većine sirovih nafti. Stoga je, razumljivo, razvoj organske geohemije, od svog nastanka pa do današnjih dana, pratio razvoj instrumentalnih tehnika za analizu organskih jedinjenja, pre svega gasne hromatografije

(GC), gasnohromatografske masene spektrometrije (GC-MS) i gasnohromatografske tandemске masene spektrometrije (GC-MS-MS). Tokom rada na ovoj disertaciji detaljno su ispitivane sličnosti i razlike odabranih organskogeohemijskih parametara izračunatih na osnovu analize tehnikama GC-MS i GC-MS-MS. Analizirani su najčešće korišćeni terpanски maturacioni parametri:  $C_{27}18\alpha(H)-22,29,30$ -trisorneohopan/ $(C_{27}18\alpha(H)-22,29,30$ -trisorneohopan +  $C_{27}17\alpha(H)-22,29,30$ -trisorhopan (Ts/(Ts+Tm)),  $C_{29}18\alpha(H)-30$ -norneohopan/ $C_{29}17\alpha(H)21\beta(H)-30$ -norhopan ( $C_{29}Ts/C_{29}H$ ),  $C_{29}17\alpha(H)21\beta(H)-30$ norhopan/ $C_{30}17\alpha(H)21\beta(H)$ -hopan ( $C_{29}H/C_{30}H$ ),  $C_{30}17\beta(H)21\alpha(H)$ -moretan/ $C_{30}17\alpha(H)21\beta(H)$ -hopan ( $C_{30}M/C_{30}H$ ), gamaceranski indeks ( $GI=G\times 100/C_{30}H$ ) i oleananski indeks ( $OI=O\times 100/C_{30}H$ ). Kao rezultat ovog rada jasno su definisane sličnosti i razlike između navedenih parametara određenih različitim tehnikama. Detaljno je objašnjena i priroda ovih razlika. S obzirom na direktnu povezanost organsko-geohemijskih istraživanja i GC-MS i GC-MS-MS instrumentalnih tehnika, očekuje se da rezultati proistekli iz ove teze nađu veliku primenu u mnogim budućim organsko-geohemijskim interpretacijama.

Na osnovu izloženog, može se zaključiti da se istraživanja izvedena tokom izrade ove doktorske teze potpuno uklapaju u trendove moderne organske geohemije. Možda najbolji dokaz o aktuelnosti proučavane problematike u ovoj doktorskoj disertaciji predstavlja činjenica da je kandidat sa rezultatima iz ove doktorske disertacije objavio rad u časopisu *Journal of Petroleum Science and Engineering*, koji prema Pravilniku o postupku, načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača pripada kategoriji M<sub>21a</sub> - Međunarodni časopis izuzetnih vrednosti.

#### **D. Objavljeni i saopšteni radovi koji čine deo disertacije**

Rezultati istraživanja proistekli iz ove doktorske disertacije objavljeni su u jednom radu štampanom u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (časopis kategorije M<sub>21a</sub>), u jednom radu štampanom u međunarodnom časopisu (časopis kategorije M<sub>23</sub>), i u jednom saopštenju na skupu međunarodnog značaja štampanom u izvodu (M<sub>34</sub>).

##### Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (M<sub>21a</sub>)

Faraj Musbah Abduljalil M., Tatjana Šolević Knudsen, Hans Peter Nytoft, Branimir Jovančićević (2016) Organic geochemistry of crude oils from the Intisar oil field (East Sirte Basin, Libya). *Journal of Petroleum Science and Engineering* 147, 605-616. Geosciences, Multidisciplinary (2/20); IF<sub>2016</sub> = 1,873. ISSN: 0920-4105. Publisher: Elsevier BV.

##### Rad u međunarodnom časopisu (M<sub>23</sub>)

Faraj Musbah Abduljalil M., Tatjana Šolević Knudsen, Ksenija Stojanović, Sonja Ivković Pavlović, Hans Peter Nytoft, Branimir Jovančićević (2017) GC-MS vs. GC-MS-MS analysis of pentacyclic terpanes in crude oils from Libya and Serbia – a comparison of two

methods. *Journal of the Serbian Chemical Society*, DOI: <https://doi.org/10.2298/JSC170419075A>. Chemistry, Multidisciplinary (131/166); IF<sub>2016</sub> = 0,822. ISSN: 0352-5139. Publisher: Srpsko hemijsko društvo.

Saopštenje na naučnom skupu međunarodnog značaja štampano u izvodu (M<sub>34</sub>)

Musbah Abduljalil M. Faraj, Tatjana Šolević Knudsen, Hans Peter Nytoft, Branimir Jovančičević (2015) Organic geochemical characteristics of crude oils from the Intisar oil field (East Sirte Basin, Libya). *IMOG 2015 - 27th International Meeting on Organic Geochemistry*, Prague, September 13-18, 2015. Book of Abstracts D0521. September 2015, pp. 162-163. ISBN: 978-3-510-49236-7. Publisher: Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften.

## E. Zaključak

Komisija je na osnovu detaljnog pregleda doktorske teze **Musbah Abduljalil M. Faraja**, pod naslovom: „**Organsko-geohemijska karakterizacija i korelacija uzoraka sirove nafte iz najznačajnijih naftnih polja basena Sirte, Libija**”, zaključila da je kandidat uspešno odgovorio na sve postavljene zadatke i ciljeve.

U okviru ove teze ispitivani su uzorci sirovih nafte koje potiču iz različitih delova basena Sirte u Libiji. Iako je ovaj region jedno od najvećih svetskih izvorišta nafte i gasa, naučne publikacije sa organsko geohemijskom interpretacijom sirovih nafte iz ovog regiona i dalje su izuzetno retke. Rezultati proistekli iz ove doktorska disertacije mogu imati značajnu primenu u istraživanju basena Sirte ali i drugih naftnih basena.

Tokom rada na ovoj disertaciji detaljno su ispitivane sličnosti i razlike odabranih organsko-geohemijskih parametara izračunatih na osnovu analize tehnikama GC-MS i GC-MS-MS. Analizirani su najčešće korišćeni terpaniski maturacioni parametri: C<sub>27</sub>18α(H)-22,29,30-trisnorneohopan/(C<sub>27</sub>18α(H)-22,29,30-trisnorneohopan + C<sub>27</sub>17α(H)-22,29,30-trisnorhopan (Ts/(Ts+Tm)), C<sub>29</sub>18α(H)-30-norneohopan/C<sub>29</sub>17α(H)21β(H)-30-norhopan (C<sub>29</sub>Ts/C<sub>29</sub>H), C<sub>29</sub>17α(H)21β(H)-30norhopan/C<sub>30</sub>17α(H)21β(H)-hopan (C<sub>29</sub>H/C<sub>30</sub>H), C<sub>30</sub>17β(H)21α(H)-moretan/C<sub>30</sub>17α(H)21β(H)-hopan (C<sub>30</sub>M/C<sub>30</sub>H), gamaceranski indeks (GI=G×100/C<sub>30</sub>H) i oleananski indeks (OI=O×100/C<sub>30</sub>H). S obzirom na direktnu povezanost organskogeohemijskih istraživanja i GC-MS i GC-MS-MS instrumentalnih tehnika, očekuje se da rezultati proistekli iz ove teze nađu veliku primenu u mnogim budućim organskogeohemijskim interpretacijama.

Rezultati istraživanja proistekli iz ove doktorske disertacije objavljeni su u jednom radu štampanom u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (časopis kategorije M<sub>21a</sub>), u jednom radu štampanom u međunarodnom časopisu (časopis kategorije M<sub>23</sub>), i u jednom saopštenju na skupu međunarodnog značaja štampanom u izvodu (M<sub>34</sub>).

Komisija smatra da rezultati ove doktorske disertacije predstavljaju značajan naučni doprinos u oblasti organske geohemije i da se u potpunosti uklapaju u savremene trendove ove naučne discipline.

Na osnovu svega izloženog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu da podnetu doktorsku disertaciju **Musbah Abduljalil M. Faraja**, pod naslovom: „**Organsko-geohemijska karakterizacija i korelacija uzoraka sirove nafte iz najznačajnijih naftnih polja basena Sirte, Libija**”, prihvati i odobri njenu odbranu.

Komisija:

---

dr Branimir Jovančičević, redovni profesor  
Hemijskog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu,  
mentor

---

dr Tatjana Šolević Knudsen, viši naučni saradnik  
Centra za hemiju  
Instituta za hemiju, tehnologiju i metalurgiju  
Univerziteta u Beogradu,  
mentor

---

dr Ksenija Stojanović, vanredni profesor  
Hemijskog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu

*U Beogradu, 11. 09. 2017. godine*