

**Predmet:** Izveštaj Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije mr Sanje M. Stojadinović (rođ. Mrkić), diplomiranog hemičara

Poštovane kolegice i kolege,

Na redovnoj sednici Nastavno-naučnog veća Hemijskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, održanoj 16. 01. 2014. godine određeni smo za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije **mr Sanje M. Stojadinović (rođ. Mrkić)**, diplomiranog hemičara, prijavljene pod naslovom:

**„Organsko-geohemijski pristupi u definisanju zone generisanja nafte  
u Panonskom basenu Srbije”**

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

**I Z V E Š T A J**

**A. Prikaz sadržaja disertacije**

Doktorska disertacija mr Sanje M. Stojadinović napisana je na 187 strana A4 formata (prored 1,5, font 12), sadrži 78 slika i 29 tabela. Podeljena je na osam poglavlja: 1. Uvod (4 strane), 2. Teorijski deo (74 strane), 3. Geološke karakteristike ispitivanog područja (21 strana), 4. Plan i cilj istraživanja (7 strana), 5. Eksperimentalni deo (5 strana), 6. Rezultati i diskusija (52 strane), 7. Zaključak (5 strana) i 8. Literatura (19 strana, 216 citata). Pored toga, teza sadrži Zahvalnicu, Izvod na srpskom i engleskom jeziku (po dve strane), Sadržaj i Biografiju kandidata.

U Uvodu kandidat ističe značaj definisanja zone generisanja nafte u sedimentnim basenima, kako u fundamentalnim, tako i u prospekcijskim istraživanjima. U tom cilju detaljno se analizira organska supstanca u potencijalnim i efektivnim matičnim stenama, kao i sastav sirovih nafti. U praksi se često dešava da se rezervoar stene za naftu otkriju pre pronalaženja i definisanja matičnih stena. Međutim, ni u takvim slučajevima interes za otkrivanjem matičnih stena se ne smanjuje, s obzirom da je pronalaženje matičnih stena od izuzetnog značaja za definisanje potencijala basena i racionalni nastavak istraživanja. Sistematično su pobrojane metode koje se koriste za ispitivanje organske supstance

sedimenata i sumirani su kriterijumi koje neka stena mora da ispunjava da bi bila okarakterisana kao matična stena za naftu i gas. Ukratko su prikazani i sadržaji svih ostalih poglavlja. U ovom delu kandidat taksativno ističe ciljeve rada. Osnovni cilj disertacije bio je definisanje zone generisanja nafte u Panonskom basenu Srbije, odnosno definisanje „naftnog prozora” na osnovu detaljnih geohemijskih istraživanja u kombinaciji sa već poznatim geološkim podacima. Ciljevi ove teze bili su i utvrđivanje porekla, sredine taloženja i stepena zrelosti organske supstance ispitivanih matičnih stena, kao i utvrđivanje primenljivosti maturacionih parametara za uzorke matičnih stena iz hipertermalnog basena. Kao poseban cilj teze izdvojila su se ispitivanja pouzdanosti primene izračunate refleksije vitrinita za uzorke matičnih stena iz hipertermalnih basena.

U Teorijskom delu kandidat je dao detaljan pregled literaturnih podataka o organskoj supstanci u matičnim stenama za naftu. Opisane su faze geološke evolucije i postanak matičnih stena, objašnjeni su kriterijumi koje stena mora da ispunjava da bi bila matična stena za naftu i data je klasifikacija matičnih stena. U posebnim celinama su obrađeni kerogen (nerastvorna organska supstanca) i bitumen (rastvorna organska supstanca). Opisane su hemijske, fizičko-hemijske i mikroskopske metode koje se koriste za ispitivanje kerogena, objašnjeni rezultati do kojih se na osnovu njih dolazi i istaknute njihove prednosti i ograničenja. U odeljku koji se odnosi na bitumen posebna pažnja je posvećena biomarkerima i aromatičnim jedinjenjima koji su korišćeni u interpretaciji rezultata doktorske disertacije. Dat je prikaz njihove geneze iz bioloških prekursora i daljih transformacija u geosferi. Navedene su metode za identifikaciju. Posebna pažnja posvećena je maturacionim parametrima koji se izračunavaju iz raspodele i obilnosti biomarkera i aromatičnih ugljovodonika i naglašene njihove prednosti i mane.

U okviru poglavlja 3 opisane su Geološke karakteristike ispitivanog područja. Najpre je ukratko opisana geološka evolucija šireg područja Panonskog basena i matičnih stena u njemu. Dat je stratigrafski i litološki prikaz tercijara, s obzirom da su rezultati velikog broja geoloških i geohemijskih istraživanja pokazali da su matične stene za naftu i gas u Panonskom basenu najčešće miocenske starosti. Posebna pažnja posvećena je našem delu Panonskog basena. Opisane su geotermičke karakteristike koje su doprinele intenzivnom zagrevanju i maturaciji organske supstance u jugoistočnom delu Panonskog basena, dat je pregled lokalnih generativnih depresija, a lokalne depresije Banatskog Arandelova, Srpske Crnje i Zrenjanina, koje su fokus ovog rada, detaljno su prikazane u pogledu geološke građe, geotermičkih karakteristika i osobina organske supstance.

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

U poglavlju Eksperimentalni deo opisane su metode i postupci koje su korišćeni za karakterizaciju uzoraka. Opšta karakterizacija organske supstance podrazumevala je elementarnu analizu i Rock-Eval pirolizu, a refleksija vitrinita je određivana i cilju utvrđivanja stepena zrelosti kerogena. Rastvorna organska supstanca je izolovana ekstrakcijom po Soksletu (Soxhlet), a zatim je razdvojena na ugljovodonični deo i polarni ostatak. Za analizu individualnih biomarkera (*n*-alkani, izoprenoidni alifatični alkani, sterani i terpani) i aromatičnih jedinjenja (derivati naftalena, fenantrena i dibenzotiofena) primenjene su savremene instrumentalne metode gasna hromatografija sa masenom spektrometrijom (GC-MS) i gasna hromatografija sa tandemskom masenom spektrometrijom (GC-MS-MS).

Poglavlje Rezultati i diskusija podjeljeno je na pet celina, a svaka od njih sadrži po nekoliko odeljaka. U ovom poglavlju dati su i tipični hromatogrami jona *n*-alkana i izoprenoidnih alifatičnih alkana, sterana, tricikličnih i pentacikličnih terpana, alkilnaftalena, alkilfenantrena i alkildibenzotiofena. Dobijeni rezultati su sistematski izloženi. Korelacije koje su korišćene u interpretaciji rezultata su ilustrovane grafički. Vrednosti velikog broja izračunatih grupnih specifičnih geohemijskih parametara tabelarno su prikazane.

Prva celina u okviru poglavlja Rezultati i diskusija odnosi se na procenu generativnog potencijala ispitivanih uzoraka. Na osnovu rezultata elementarne analize i Rock-Eval pirolize ustanovljeno je da 31 od 33 ispitivana uzorka zadovoljava kriterijume za matične stene za naftu. Najveći broj uzoraka pokazao je veoma dobar generativni potencijal. Nekolicina uzoraka izdvojila se po slabijem potencijalu. Međutim, na osnovu maksimalne temperature iz Rock-Eval pirolize i produkcionog indeksa, kao i na osnovu savremene temperature pretpostavljeno je da je slabiji generativni potencijal verovatno uslovljen visokim stepenom zrelosti organske supstance. Ovi uzorci mogu biti veoma značajni sa prospekcijskog aspekta zbog činjenice da su već generisali i istisnuli znatnu količinu nafte, tim pre što se u njihovoj blizini nalaze i značajna naftna polja. Detaljnom korelacijom parametara Rock-Eval pirolize ustanovljeno je da je organska supstanca najvećeg broja uzoraka pretežno sačinjena od kerogena tipa II koji ima visok generativni potencijal za stvaranje tečnih ugljovodonika. To se pre svega odnosi na uzorke iz badena, sarmata i panona. Za organsku supstancu uzoraka pontske starosti ustanovljeno je da se karakteriše dominacijom kerogena tipa II/III, odnosno kerogena tipa III, koji ima slab potencijal za stvaranje nafte, ali na višim stadijumima maturacije može biti značajan izvor gasa.

U drugoj celini ovog poglavlja diskutovani su i interpretirani poreklo i sredina taloženja organske supstance. Brojni biomarkerski parametri (raspodela C<sub>27</sub>-C<sub>29</sub> 14 $\alpha$ (H)17 $\alpha$ (H)20(R) sterana, oleananski indeks, gamaceranski indeks, odnos sterana i hopana, C<sub>30</sub> steranski indeks i C<sub>30</sub> diasteranski indeks, odnosi dibenzotiofen/fenanten, pristan/fitan, C<sub>26</sub> triciklični terpan/C<sub>25</sub> triciklični terpan, C<sub>35</sub>(S) hopan/C<sub>34</sub>(S) hopan, obilnost C<sub>29</sub>-28-norspergularana i C<sub>29</sub>-C<sub>32</sub>-diahopana) ukazali su na mešovito, drvenasto-algalno poreklo organske supstance taložene u promenljivim uslovima, od redukcionih do suboksičnih. Salinitet paleosredine je opadao od srednjeg ka gornjem miocenu. Gornjemiocenski uzorci su taloženi u suboksičnoj, slatkovodnoj paleosredini. Srednjemiocenski uzorci se dele u dve grupe. Uzorci prve grupe su formirani u dubljoj, slanijoj i reduktivnijoj paleosredini. Srednjemiocenski uzorci druge grupe taloženi su u plićoj, zaslanjenoj, suboksičnoj paleosredini i karakterišu se značajnim udelom prokariotske prekursorke biomase.

Na osnovu biomarkerskih odnosa, sterani/hopani i C<sub>30</sub> steranskog indeksa ustanovljena je starost za 7 uzorka iz nedefinisane miocenske serije. Procenjeno je da starost uzoraka 18, 20, 28 i 29 verovatno odgovara granici između srednjeg i gornjeg miocena (sarmat-panon) što objašnjava nemogućnost preciznog biostatigrafskog određivanja. Za druga tri uzorka nedefinisanog miocena (13, 25 i 26) ustanovljena je starost srednjeg miocena.

U trećoj celini ovog poglavlja proučavana je zrelost ispitivanih uzorka i primenljivost specifičnih organsko-geohemijskih maturacionih parametara u hipertermalnim basenima. Korišćeni su brojni nebiomarkerski i biomarkerski parametri. Imajući u vidu da praktično ne

postoji idealan biomarkerski maturacioni odnos na koji pored maturacije, izvesnog uticaja nemaju i poreklo, sredina taloženja ili litološki sastav stene, na osnovu korelacije maturacionih parametara sa parametrima porekla i sredine taloženja najpre je utvrđeno koji parametri su realni indikatori maturacije, te se sa visokom pouzdanošću mogu koristiti u daljoj interpretaciji. Kombinacijom geoloških podataka, rezultata Rock-Eval pirolize i biomarkerskih maturacionih parametara nađeno je da se najveći broj uzoraka nalazi u glavnoj fazi generisanja nafte. Za nekolicinu uzoraka ustanovljeno je da se nalaze u kasnoj fazi generisanja nafte, dok je izvestan broj uzoraka pokazao nisku zrelost (uzorci sa dubina manjih od 2000 m) ali visok generativni potencijal, što znači da su u dubljim delovima basena mogli generisati znatnu količinu ugljovodonika. Takođe, detektovano je i nekoliko uzoraka koji se nalaze na izlasku iz „naftnog prozora“. Ovako širok dijapazon savremenih temperatura (88-175 °C), dubina (1540-3420 m) i maturacije omogućio je da se izvede kalibracija biomarkerskih maturacionih parametara u odnosu na zonu generisanja nafte. Imajući u vidu da svi biomarkerski odnosi nisu podjednako osetljivi u svim delovima „naftnog prozora“ definisani su i opsezi maturacije u kojima pojedini biomarkerski parametri mogu biti korišćeni. Takođe, predložen je i nov maturacioni parametar koji predstavlja odnos  $C(14a)\text{-homo-nor-}17\alpha(H)\text{-hopana}$  i  $C_{30}$  hopana i ispitana je njegova primenljivost. Ovi rezultati doktorske disertacije su posebno značajni jer su kalibracije prvi put urađene na primeru hipertermalnog basena u kojima zona generisanja nafte odgovara užem opsegu refleksija vitrinita i njenim nižim vrednostima. Steranski maturacioni parametar  $C_{29}\beta\beta(R)/(\beta\beta(R)+\alpha\alpha(R))$ , potvrdio je svoju primenljivost u širokom opsegu maturisanosti, od početka do kasne faze generisanja nafte. Odnosi  $C_{27}$  i  $C_{29}$  neohopan/hopan,  $C_{27}\text{-}C_{29}$  diasteran/(diasteran+steran) i  $C_{30}$  diahopan/ $C_{30}$  hopan su pokazali osetljivost kao indikatori maturacije za uzorke u kasnom stadijumu generisanja nafte, dok su u opsegu od rane do srednje zrelosti, vrednosti ovih parametara kontrolisane i maturacijom i redoks potencijalom paleosredine. Odnosi  $C_{27}$ ,  $C_{29}\text{-}C_{32}$  „rano eluirajući“ hopan/hopan i  $C_{31}\text{-}C_{32}$  diahopan/hopan su pokazali dobru osetljivost samo za razlikovanje umereno zrele i visoko maturisane organske supstance. Naftalenski i fenantrenski maturacioni parametri su pokazali slabiju primenljivost u poređenju sa biomarkerskim maturacionim odnosima, posebno u opsegu od rane do srednje zrelosti, s tim što su fenantrenski i trimetilnaftalenski parametri pokazali nešto bolju primenljivost u odnosu na dimetilnaftalenske. Neosetljivost parametara zasnovanih na alkilaromatima, posebno naftalenskih, u opsegu maturacije od rane do umerene može biti posledica visokih geotermalnih gradijenata i velike brzine zagrevanja sedimenata, što doprinosi brzom odvijanju izomerizacionih i transalkilacionih procesa. Osim toga, poznato je da su raspodele alkilaromata u značajnoj meri kontrolisane ne samo stepenom zrelosti već i poreklom, depozicionom sredinom i litologijom, pogotovu u opsegu od rane do umerene zrelosti. Novopredloženi maturacioni parametar pokazao je dobru osetljivost u celom opsegu „naftnog prozora“.

U četvrtoj celini, na osnovu korelacije na petnaest načina izračunate i izmerene refleksije vitrinita, ispitivana je pouzdanost primene izračunate refleksije vitrinita za organsku supstancu matičnih stena (kerogen tipa II, širokog opsega zrelosti) iz hipertermalnih basena sa velikom brzinom zagrevanja sedimenata. Ovo je posebno značajno, s obzirom na kompleksnost merenja refleksije vitrinita u matičnim stenama koje sadrže pretežno kerogen tipa I i/ili II i koje mogu biti siromašne reprezentativnim vitrinitima. Izmerene vrednosti

refleksije vitrinita su pokazale slabu saglasnost sa izračunatim vrednostima refleksije zasnovanim na dimetilnaftalenskim i fenantrenskim parametrima, što je najverovatnije posledica činjenice da su ove jednačine najčešće ustanovljene tokom ispitivanja ugljeva koji sadrže kerogen tipa III. Sem toga, kao što je već naglašeno u hipertermalnim basenima sa velikom brzinom zagrevanja, intenzivno se odvijaju reakcije izomerizacije i transalkilovanja alkilaromata, što doprinosi slabijoj osetljivosti maturacionih parametara zasnovanih na njihovoj raspodeli i obilnosti. Merena refleksija vitrinita je pokazala dobru saglasnost sa vrednostima refleksije vitrinita koje su izračunate na osnovu maksimalne paleotemperature i maturacionih parametara zasnovanih na raspodeli i obilnosti sterana i metildibenzotiofena, kao i sa maturacionom parametrom predloženim u ovom radu. Takođe na osnovu korelacione analize, u ovoj tezi su po prvi puta predložene jednačine za izračunavanje refleksije vitrinita na osnovu steranskog maturacionog parametra  $C_{29}\beta\beta(R)/C_{29}(\beta\beta(R)+\alpha\alpha(R))$ .

U poslednjoj, petoj celini poglavlja sintezom i interpretacijom svih dobijenih rezultata (Rok-Eval analiza, biomarkerski parametri i maturacioni odnosi zasnovanih na aromatičnim jedinjenjima), uzimajući u obzir i sve prethodno poznate geološke podatke o proučavanoj oblasti, određena je „zona generisanja nafte“ u severnom i centralnom delu Banatske depresije. Glavna faza generisanja nafte u ovom delu Banatske depresije počinje na temperaturi od 130 °C pri refleksiji vitrinita,  $R_c \sim 0,63 \%$ , dostiže maksimum na približno 145 – 150 °C pri  $R_c 0,72-0,75 \%$ , dok kasna faza generisanja nafte započinje na 155°C pri  $R_c \sim 0,78 \%$ . Ovim vrednostima temperatura i refleksija vitrinita, u zavisnosti od geotermalnog gradijenta, odgovaraju dubine 2100-2300 m, 2600-2900 m i 3050-3100 m, respektivno. Početak generisanja nafte odgovara temperaturi 110 - 120 °C i dubini od 1850 do 2100 m, pri refleksiji vitrinita,  $R_c \approx 0,53 - 0,58 \%$ , dok je kraj „naftnog prozora“ na 170-175 °C, pri  $R_c \approx 0,89-0,93 \%$ , i dubini od oko 3500 m.

U poglavlju Zaključci kandidat je na osnovu rezultata, kritički analiziranih i detaljno prodiskutovanih, sistematski rezimirao najznačajnije rezultate u vidu zaključaka.

Navedena Literatura obuhvata radove iz oblasti istraživanja (216 citata) i pokriva sve delove disertacije.

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

Utvrđeno je da 31 od 33 ispitivana uzorka zadovoljava kriterijume za matične stene za naftu. Najveći broj uzoraka pokazao je veoma dobar generativni potencijal.

Ustanovljeno je da je organska supstanca najvećeg broj uzoraka pretežno sačinjena od kerogena tipa II koji ima visok generativni potencijal za stvaranje nafte. To se pre svega odnosi na uzorke iz badena, sarmata i panona. Za organsku supstancu uzoraka ponta ustanovljeno je da se karakteriše dominacijom kerogena tipa II/III, odnosno kerogena tipa III, koji ima slab potencijal za stvaranje nafte, ali na višim stadijumima maturacije može biti značajan izvor gasa.

Brojni biomarkerski parametri ukazali su na mešovito drvenasto-algalno poreklo organske supstance taložene u promenljivim uslovima, od redukcionih do suboksičnih. Salinitet paleosredine je opadao od srednjeg ka gornjem miocenu. Gornjemiocenski uzorci su

taloženi u suboksičnoj, slatkovodnoj paleosredini. Srednjemiocenski uzorci se dele u dve grupe. Uzorci prve grupe su formirani u dubljoj, slanijoj i reduktivnijoj paleosredini. Srednjemiocenski uzorci druge grupe taloženi su u plićoj, zaslanjenoj, suboksičnoj paleosredini i karakterišu se značajnim udelom prokariotske prekursorke biomase. Na osnovu korelacije biomarkerskih parametara procenjena je i starost za sedam uzoraka nedefinisanog miocena.

Kombinacijom geoloških podataka, rezultata Rock-Eval pirolize i biomarkerskih maturacionih parametara nađeno je da se najveći broj uzoraka nalazi u glavnoj zoni generisanja nafte.

Steranski maturacioni parametar  $C_{29}\beta\beta(R)/(\beta\beta(R)+\alpha\alpha(R))$ , potvrdio je svoju primenljivost u širokom opsegu maturisanosti, od početka do kasne faze generisanja nafte. Odnosi  $C_{27}$  i  $C_{29}$  neohopan/hopan,  $C_{27}$ - $C_{29}$  diasteran/(diasteran+steran) i  $C_{30}$  diahopan/ $C_{30}$  hopan su pokazali osetljivost kao indikatori maturacije za uzorke u kasnom stadijumu generisanja nafte, dok su u opsegu od rane do srednje zrelosti, vrednosti ovih parametara kontrolisane i maturacijom i redoks potencijalom paleosredine. Odnosi  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ - $C_{32}$  „rano eluirajući“ hopan/hopan i  $C_{31}$ - $C_{32}$  diahopan/hopan su pokazali dobru osetljivost samo za razlikovanje umereno maturisane i visoko maturisane organske supstance. Naftalenski i fenantrenski maturacioni parametri su pokazali slabiju primenljivost u poređenju sa biomarkerskim maturacionim odnosima, posebno u opsegu od rane do srednje maturisanosti, s tim što su fenantrenski i trimetilnaftalenski parametri pokazali nešto bolju primenljivost u odnosu na dimetilnaftalenske. Novopredloženi maturacioni parametar, odnos  $C(14a)$ -homonor- $17\alpha(H)$ -hopana i  $C_{30}$  hopana pokazao je dobru osetljivost u opsegu celog „naftnog prozora“.

Kada je reč o primenljivosti maturacionih parametara i jednačina za izračunavanje refleksije vitrinita na kerogenu matičnih stena iz hipertermalnog basena ustanovljeno je da su najprimenljivije jednačine zasnovane na savremenoj temperaturi, steranskim i dibenzotiofenskim maturacionim parametrima i maturacionom parametru predloženom u ovom radu  $C(14a)$ -homonor- $17\alpha(H)$ -hopan/ $C_{30}$  hopan. Takođe, po prvi put su ustanovljene linearna i logaritamska jednačina koje povezuju refleksiju vitrinita sa vrednostima steranskog maturacionog parametra  $C_{29}\beta\beta(R)/C_{29}(\beta\beta(R)+\alpha\alpha(R))$ .

Glavna zona generisanja nafte u Banatskoj depresiji počinje na  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri  $R_c \sim 0,63\%$ , dostiže maksimum na približno  $145 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri  $R_c 0,72-0,75\%$ , dok kasna faza generisanja nafte započinje na  $155\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri  $R_c \sim 0,78\%$ . Ovim vrednostima temperatura i refleksija vitrinita, u zavisnosti od geotermalnog gradijenta, odgovaraju dubine 2100-2300 m, 2600-2900 m i 3050-3100 m, respektivno. Početak generisanja nafte odgovara temperaturi  $110 - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  i dubini od 1850 do 2100 m, pri refleksiji vitrinita,  $R_c \approx 0,53 - 0,58\%$  dok je kraj „naftnog prozora“ na  $170-175\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pri  $R_c \approx 0,89-0,93\%$ , i dubini od oko 3500 m.

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

Jedna od najznačajnijih oblasti organske geohemije je primena u ispitivanju i definisanju karakteristika organske supstance i potencijala sedimentnih basena. Iako se danas

sve više pažnje posvećuje matičnim stenama i kao proizvodnim objektima (frakturacija naftonosnih šejlova), traganje za novim, kao i detaljnije ispitivanje i definisanje poznatih naftno-gasnih nalazišta širom sveta je uvek u žiži aktuelnosti. O tome svedoči 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 nafte i/ili pronalaženja novih ležišta. Imajući u vidu činjenicu da se zone generisanja nafte mogu ustanoviti jedino utvrđivanjem maturacije, a dokazati analizom odgovarajućih matičnih stena, precizno utvrđivanje područja efektivnih naftno-matičnih stena i njihovo ispitivanje su od neprocenjivog značaja, kako sa fundamentalnog, tako i sa praktičnog i ekonomskog aspekta. Budući da takva ispitivanja predstavljaju preduslov i za definisanje puteva migracije, utvrđivanje zone generisanja nafte u najznačajnijem delu Panonskog basena Srbije, potpuno se uklapa u trendove moderne organske geohemije.

Panonski basen predstavlja jedino proizvodno područje za naftu i gas u Srbiji i ujedno i jednu od najperspektivnijih oblasti za buduća istraživanja ležišta ugljovodonika u našoj zemlji. Kandidat je u svom radu utvrdio poreklo, sredinu taloženja, stepen zrelosti organske supstance ispitivanih uzoraka i njihov generativni potencijal. Definisana je zona generisanja nafte u Panonskom basenu Srbije. Prvi put je ustanovljena aproksimativna kalibracija biomarkerskih parametara u odnosu na „naftni prozor” u hipertermalnim basenima i ustanovljeni opsezi maturacije u kojima se oni mogu primenjivati. Predložen je i novi maturacioni parametar, koji je pokazao dobru osetljivost u širokom opsegu maturacije. Detaljno je ispitana primenljivost izračunate refleksije vitrinita. Navedeni rezultati mogu imati značajnu primenu u istraživanju drugih hipertermalnih basena.

Možda najbolji dokaz o aktuelnosti proučavane problematike u doktorskoj disertaciji predstavlja činjenica da je kandidat objavio rad u časopisu *Organic Geochemistry*, koji je decenijama ubedljivo vodeći u ovoj naučno-istraživačkoj oblasti.

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

Rezultati istraživanja proistekli iz ove doktorske disertacije objavljeni su u dva rada štampana u međunarodnim naučnim časopisima (jedan kategorije M<sub>21</sub> i jedan kategorije M<sub>23</sub>), tri saopštenja štampana u celini na skupovima međunarodnog značaja (M<sub>33</sub>) i jedno saopštenje štampano u izvodu na skupu međunarodnog značaja (M<sub>34</sub>).

##### Radovi u vrhunskim časopisima međunarodnog značaja (M<sub>21</sub>)

**Mrkić S., Stojanović K., Kostić A., Nytoft H.P., Šajnović A.** (2011) Organic geochemistry of Miocene source rocks from the Banat Depression (S.E. Pannonian Basin, Serbia). *Organic Geochemistry* **42**, 655-677. *Geochemistry & Geophysics* (17/76); IF<sub>2011</sub> = 2,785. Izdavač: Elsevier.

Radovi u časopisima međunarodnog značaja (M<sub>23</sub>)

**Stojadinović S.**, Kostić A., Nytoft H.P., Stojanović K. (2015) Applicability of Calculated Vitrinite Reflectance for Assessment of Source Rock's Organic Matter Maturity in Hyperthermal Basins (Banat Depression, Serbia). *Petroleum Chemistry* **55**, 444-454. Engineering, Petroleum (13/20); IF<sub>2014</sub> = 0,420. Izdavač: MAIK Nauka/Interperiodica i Springer.

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

**Mrkić S.**, Stojanović K., Kostić A. (2009) Oil – source rock correlation based on detail analysis of biomarkers (Banat Depression, Serbia). 7<sup>th</sup> International Conference “Oil and Gas Chemistry”, Tomsk, Russia, September 21-26, 2009. Proceedings, pp. 240-244 (*na ruskom*). ISBN: 978-5-94458-101-3. Izdavač: IOA of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk.

Stojanović K., Kostić A., **Mrkić S.** (2012) Applicability of calculated vitrinite reflectance for maturity assessment of organic matter of source rocks from hyperthermal basin (Banat Depression, Serbia). 8<sup>th</sup> International Conference “Oil and Gas Chemistry”, Tomsk, Russia, September 24-28, 2012. Proceedings, pp. 116-119 (*na ruskom*). ISBN: 978-5-94621-352-3. Izdavač: Institute of Petroleum Chemistry, Russian Academy of Sciences and Federal University of Tomsk.

Stojanović K., Kostić A., Nytoft H.P., **Stojadinović S.** (2015) Thermal evolution of the organic matter and oil generation in the Serbian part of the Pannonian Basin. 9<sup>th</sup> International Conference “Oil and Gas Chemistry”, Tomsk, Russia, September 22-25, 2015. Proceedings, pp. 116-121. ISBN: 978-5-94458-154-9. Izdavač: IOA of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and Institute of Petroleum Chemistry, Russian Academy of Sciences, Tomsk.

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

Stojanović K., **Mrkić S.**, Kostić A., Nytoft H.P., Šajnović A. (2011) Short-chain steranes and isophopanes in Miocene source rocks from hyperthermal basin (Banat Depression, S.E. Pannonian Basin, Serbia). 25<sup>th</sup> International Meeting on Organic Geochemistry, Interlaken, Switzerland, September 18-23, 2011. Book of Abstracts, p. 410. Izdavač: European Association of Organic Geochemists.



## E. Zaključak

Komisija je na osnovu detaljnog pregleda doktorske teze **mr Sanje Stojadinović** pod naslovom „**Organsko-geohemijski pristupi u definisanju zone generisanja nafte u Panonskom basenu Srbije**”, zaključila da je kandidat uspešno odgovorio na sve postavljene zadatke i ciljeve.

Utvrđeno je da 31 od 33 ispitivana uzorka zadovoljava kriterijume za matične stene za naftu.

Organska supstanca najvećeg broj uzoraka je pretežno sačinjena od kerogena tipa II koji ima visok generativni potencijal za stvaranje tečnih ugljovodonika. To se pre svega odnosi na uzorke iz badena, sarmata i panona. Za organsku supstancu uzoraka pona ustanovljeno je da se karakteriše dominacijom kerogena tipa II/III, odnosno kerogena tipa III, koji ima slab potencijal za stvaranje nafte, ali na višim stadijumima maturacije može biti značajan izvor gasa.

Organska supstanca je mešovito drvenasto-algalnog porekla taložena u promenljivim uslovima, od redukcionih do suboksičnih. Salinitet paleosredine je opadao od srednjeg ka gornjem miocenu. Gornjemiocenski uzorci su taloženi u suboksičnoj, slatkovodnoj paleosredini. Srednjemiocenski uzorci se dele u dve grupe. Uzorci prve grupe su formirani u dubljoj, slanijoj i reduktivnijoj paleosredini. Srednjemiocenski uzorci druge grupe taloženi su u plićoj, zaslanjenoj, suboksičnoj paleosredini i karakterišu se značajnim udelom prokariotske prekursorke biomase. Na osnovu korelacije biomarkerskih parametara procenjena je i starost za sedam uzoraka iz nedefinisanog miocena.

Prvi put je ustanovljena aproksimativna kalibracija biomarkerskih parametara u odnosu na „naftni prozor” u hipertermalnim basenima i ustanovljeni opsezi maturacije u kojima se oni mogu primenjivati.

Kada je reč o primenljivosti jednačina za izračunavanje refleksije vitrinita na uzorcima matičnih stena iz hipertermalnog basena ustanovljeno je da su najprimenljivije jednačine zasnovane na savremenoj temperaturi, steranskim i dibenzotiofenskim maturacionim parametrima, kao i na maturacionom parametru predloženom u ovom radu C(14a)-homo-nor-17 $\alpha$ (H)-hopan/C<sub>30</sub> hopan. Takođe, prvi put su ustanovljene linearna i logaritamska jednačina koje povezuju refleksiju vitrinita sa vrednostima steranskog maturacionog parametra C<sub>29</sub> $\beta\beta$ (R)/C<sub>29</sub>( $\beta\beta$ (R)+ $\alpha\alpha$ (R)).

Glavna faza generisanja nafte u Banatskoj depresiji počinje na 130 °C pri refleksiji vitrinita, Rc ~ 0,63 %, dostiže maksimum na približno 145 – 150 °C pri Rc 0,72-0,75 %, dok kasna faza generisanja nafte započinje na 155°C pri Rc ~ 0,78 %. Ovim vrednostima temperatura i refleksija vitrinita, u zavisnosti od geotermalnog gradijenta, odgovaraju dubine 2100-2300 m, 2600-2900 m i 3050-3100 m, respektivno. Početak generisanja nafte odgovara temperaturi 110 - 120 °C i dubini od 1850 do 2100 m, pri refleksiji vitrinita, Rc  $\approx$  0,53 - 0,58 % dok je kraj „naftnog prozora“ na 170-175 °C, pri Rc  $\approx$  0,89 - 0,93 %, i dubini od oko 3500 m.

Rezultati istraživanja proistekli iz ove doktorske disertacije objavljeni su u dva rada štampana u međunarodnim naučnim časopisima (jedan kategorije M<sub>21</sub> i jedan kategorije M<sub>23</sub>), tri saopštenja štampana u celini na skupovima međunarodnog značaja (M<sub>33</sub>) i jedno saopštenje štampano u izvodu na skupu međunarodnog značaja (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 **mr Sanje M. Stojadinović** pod naslovom „**Organsko-geohemijski pristupi u definisanju zone generisanja nafte u Panonskom basenu Srbije**” prihvati i odobri njenu odbranu.

Komisija:

---

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

---

dr Aleksandar Kostić, redovni profesor  
Rudarsko-geološkog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu,  
mentor

---

dr Branimir Jovančičević, redovni profesor  
Hemijskog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu

---

dr Aleksandra Šajnović, viši naučni saradnik  
Centra za hemiju  
Instituta za hemiju, tehnologiju i metalurgiju  
Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu,  
09. 05. 2016. godine