



**Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду**

**[ДР РГФ]**

|||||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009506>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)



**PROCENA NAFTNO-GASNOG POTENCIJALA I KVALITETA ULJNIH ŠEJLOVA „ALEKSINCA“**

**EVALUATION OF THE OIL-GAS POTENTIAL AND QUALITY OF „ALEKSINAC,, OIL SHALES**

Aleksić N.<sup>1</sup>

**Apstrakt**

U radu je detaljno predstavljena procena kvaliteta i naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova iz ležišta "Aleksinac", zasnovana na rezultatima pirolize Rock-Eval i organo-petrografske analize uzoraka, uključujući i refleksiju huminita/vitrinita. Naftno-gasni potencijal procenjen je na osnovu stepena zrelosti, količine, tipa i produktivnosti kerogena, izraženih kroz ključne parametre kao što su ukupni organski ugljenik (TOC), količina slobodnih ugljovodonika (S1), generativni potencijal (S2), kao i vodonični (HI) i kiseonični indeks (OI). Refleksija huminita, zajedno sa organo-petrografskom analizom, dodatno je potvrdila stadijum zrelosti organske materije i omogućila precizno određivanje tipa kerogena. Rezultati analiza, koji obuhvataju prinos ulja, toplotnu vrednost, elementarni sastav kerogena, sadržaj sumpora, vlažnost i hemijski sastav pepela, omogućili su jasnu ocenu kvaliteta ispitivanih uzoraka aleksinačkih uljnih šejlova. Prikazani rezultati predstavljaju ključne smernice za buduća razmatranja ekonomskih i ekoloških aspekata u slučaju potencijalne eksploatacije ležišta uljnih šejlova "Aleksinac".

***Ključne reči: naftno-gasni potencijal, kvalitet uljnih šejlova, piroliza Rock-Eval, mikroskopske analize***

**Abstract**

The paper presents a detailed evaluation of the quality and hydrocarbon potential of oil shales from the "Aleksinac" deposit, based on results from Rock-Eval pyrolysis and organic petrographic analysis of samples, including huminite/vitrinite reflectance. The oil and gas potential is evaluated by considering the maturity level, quantity, type, and productivity of kerogen, expressed through key parameters such as Total Organic Carbon (TOC), the amount of free hydrocarbons (S1), generative potential (S2), as well as the Hydrogen Index (HI) and Oxygen Index (OI). Huminite reflectance, together with organo-petrographic analysis, further confirmed the maturity stage of the organic matter and enabled precise identification of kerogen types. The results of the analyses, which include oil yield, calorific value, elemental composition of kerogen, sulfur content, moisture, and ash chemical composition, allowed for a clear evaluation of the quality of the Aleksinac oil shale samples. These findings provide essential guidance for future considerations of the economic and environmental aspects in the potential exploitation of the "Aleksinac" oil shale deposit.

***Keywords: oil-gas potential, quality of oil shale, Rock-Eval pyrolysis, microscopic analysis***

**1. Uvod**

Sagledavanjem različitih faktora i kriterijuma, u prvom redu geoloških, ekonomskih i ekoloških, može se dugoročno razmatrati mogućnost eksploatacije i proizvodnje nafte i gasa iz uljnih šejlova. Procena kvaliteta i naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova sa ciljem proizvodnje nafte i gasa predstavlja jedan od ključnih koraka koji je u direktnoj sprezi sa razvojem energetske strategije i održivog razvoja energetske industrije.

Geološka ispitivanja uljnih šejlova odlikuju se različitim fazama - prognoziranje, prospekcija i istraživanje. Svaka od ovih faza pruža značajne podatke o prostornom rasprostranjenju, o genezi potencijalnog ležišta

<sup>1</sup> Nikoleta Aleksić, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, nikoleta.aleksic@rgf.bg.ac.rs

kao i o količini prognoznih rezervi. Tokom detaljnih geoloških istraživanja posebna pažnja se posvećuje litofacijalnim karakteristikama, litološkom sastavu produktivnih delova ležišta, dok je od velikog značaja i sagledavanje debljine, broja i položaja produktivnih slojeva. Za procenu kvaliteta uljnih šejlova značajno je odrediti toplotu sagorevanja, prinos ulja, sadržaj ukupnog sumpora, sadržaj vlage, stepen obogaćivanja kao i hemijski sastav pepela [1]. Bitan faktor u određivanju naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova predstavljaju rezultati organo-geohemijskih i organo-petrografskih analiza sa refleksijom huminita/vitrinita koji nam ukazuju na termičku zrelost organske supstance, količinu, tip i produktivnost kerogena.

Uljni šejlovi „Aleksinca“ dugi niz godina predstavljaju predmet geoloških, hemijskih i tehnoloških istraživanja i ispitivanja sa ciljem dobijanja tačnih podataka o kvalitetu i količini geoloških rezervi, kao i mogućnosti eksploatacije i njenom uticaju na životnu sredinu. U prvom redu istraživanja su usmerena na ocenu naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova i procene mogućnosti dobijanja sintetičke nafte. Do danas je izvršen veliki broj ispitivanja koja su od značaja za određivanje optimalnih metoda eksploatacije kao i za iskorišćenje uljnih šejlova. Tokom dugogodišnjih geoloških istraživanja zaključeno je da u okviru ležišta uljnih šejlova „Aleksinca“ postoje slojevi izuzetno bogati organskom supstancom sa prinosom ulja i do 18 % ali isto tako zapaža se i smena sa slojevima uljnih šejlova značajne debljine (preko 10 m) gde prinos ulja iznosi svega od 4 % do maksimalnih 7 % [2]. Procenjeno je da centralni deo aleksinačkog basena, po bogatstvu rezervi uljnih šejlova, predstavlja za sada ekonomski najznačajniji prostor u Srbiji [1].

## **2. Parametri za procenu kvaliteta uljnih šejlova**

### **2.1 Količina i tip kerogena**

Osnovni parametri za određivanje genetskog tipa uljnih šejlova, a samim tim i njihovog kvaliteta jesu količina odnosno sadržaj i tip dominantnog kerogena. Ukupan sadržaj i tip kerogena može se odrediti mikroskopskom metodom, u normalnoj i fluorescentnoj svetlosti, zatim na osnovu analize ukupnog organskog ugljenika (TOC; mas. %) i različitih izlaznih parametara iz pirolize Rock-Eval (S1, S2, T<sub>max</sub>, HI, OI), a značajne podatke pruža i elementarna analiza kerogena. Sadržaj kerogena varira u širokom opsegu od 6 % ređe i do 60 %, dok sedimentne stene sa sadržajem kerogena ispod 3 % ne bi trebalo okarakterisati kao uljne šejlove [1].

### **2.2 Toplota sagorevanja**

Toplota sagorevanja uljnih šejlova je u direktnoj zavisnosti od količine prisutne organske supstance i njenog elementarnog sastava (sadržaj H,C,O,N) kao i mineralnog sastava. Sa povećanjem količina ugljenika i vodonika u uljnom šejlu zapaža se i proporcionalan rast kerogena, a smanjuje se sa povećanjem sadržaja kiseonika. Toplota sagorevanja uljnih šejlova kreće se između 32-38 MJ/kg [1].

### **2.3 Prinos ulja**

Prinos ulja u različitim tipovima ležišta uljnih šejlova zavisi prvenstveno od genetskog tipa nalazišta i predstavlja jedan od ključnih parametara za geološko-ekonomsku i hemijsko-tehnološku evaluaciju ovih resursa. Količina ulja dobijena iz različitih tipova i formacija uljnih šejlova može značajno varirati, krećući se od 32 do 220 l po toni uljnog šejla [3,4,5]. Na osnovu različitih podataka, procenjuje se da približno 50 % kerogena procesom pirolize može biti konvertovano u ulje. Pored sadržaja i tipa kerogena, na prinos ulja i stepen iskorišćenja uljnih šejlova značajno utiče i mineralni sastav stene. Karbonati tokom pirolize efikasnije oslobađaju ulje u poređenju sa glinovitim sedimentima, koji zbog svojih visokih apsorpcionih svojstava otežavaju oslobađanje ulja. Pri proceni uljnih šejlova kao sirovine za dobijanje sintetičke nafte, razmatraju se šejlovi koji daju preko 50 l ulja po toni. To se smatra donjom granicom rentabilnosti eksploatacije i prerade uljnih šejlova, što znači da bi trebalo da sadrže više od 10 % kerogena tipa I i II. [1].

## **2.4 Sadržaj ukupnog sumpora**

Sadržaj sumpora u uljnim šejlovima igra ključnu ulogu ne samo u proceni kvaliteta sirovine već i u uticaju na ekološke aspekte pri njihovoj eksploataciji i preradi. Prilikom termičke obrade uljnih šejlova, sumpor se oslobađa u obliku sumpor-dioksida ( $\text{SO}_2$ ), što predstavlja ozbiljan ekološki problem. Usled toga, veoma je važno pažljivo pratiti i kontrolisati sadržaj sumpora tokom eksploatacije uljnih šejlova. Sumpor je izrazito postojan element pri čemu njegov sadržaj u uljnim šejlovima može dostizati i do 10 %. Nakon termičke prerade, zaostali sulfidi mogu se rastvoriti i lako se prenositi podzemnim tokovima [1]. Različite tehnike desumporizacije koje se koriste u industriji posebno u rafinerijama, mogu značajno smanjiti količinu prisutnih sumpornih jedinjenja. Međutim, ovi postupci su skupi i tehnološki zahtevni, što povećava ukupne troškove proizvodnje i utiče na isplativost eksploatacije. Kvalitet sirovine sa niskim sadržajem sumpora smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu, olakšava proizvodne procese i povećava ukupnu efikasnost.

## **2.5 Sadržaj vlage**

Sadržaj vlage predstavlja značajan parametar u oceni uljnih šejlova i mora biti uziman u obzir u svim stadijumima geoloških istraživanja. Na primer, pri sadržaju vlage od 10-12 % gubitak toplote iznosi i do 35 % pri termičkoj preradi [1]. Viši sadržaj vlage smanjuje energetska efikasnost tokom pirolize uljnih šejlova jer je potrebno dodatno zagrevanje da bi voda isparila pre nego što počne proces izdvajanja ulja. To povećava ukupne troškove obrade. Smanjenje sadržaja vlage u šejlovima pre njihove prerade može smanjiti emisiju štetnih gasova i potrošnju energije tokom eksploatacije. Takođe, ispuštanje vode tokom prerade uljnih šejlova može doprineti zagađenju podzemnih voda, zbog čega su potrebne dodatne mere zaštite životne sredine.

## **2.6 Hemijski sastav pepela**

Zavisno od sadržaja kerogena, pri sagorevanju uljnih šejlova ostaje tzv. pepelni ostatak od 55-85 %. Pepero uljnih šejlova je pretežno izgrađen od oksida:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{K}_2\text{O}$ . Prema sadržaju oksida mogu se izdvojiti tri grupe pepela i to: karbonantni, karbonantno-alumosilikatni i alumosilikatni. Sadržaj i sastav pepela je izuzetno bitan parametar sa ekološkog aspekta, a isto tako može uticati i na tehnološki postupak sagorevanja i druge tehnologije prerade uljnih šejlova [1].

## **2.7 Mineralni sastav**

Litološke karakteristike i mineralni sastav predstavljaju značajan parametar za sagledavanje kvaliteta uljnih šejlova, posebno za procesu dobijanja ulja. Mineralni sastav uljnih šejlova može biti različit, tako da se razlikuju šejlovi pretežno glinovitog, karbonatnog i karbonatno-silikatnog tipa. Za procenu mineralnog sastava uljnih šejlova koriste se savremene mineraloške metode [1].

## **3. Parametri za procenu naftno-gasnog potencijala**

Za procenu naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova koriste se podaci dobijeni organo-geohemijskim i organo-petrografskim analizama, kao i analizom ukupnog ekstrakta i ugljovodonika. Količina sadržaja ukupnog organskog ugljenika (TOC) kao i rezultati drugih parametara iz pirolize Rock-Eval ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $H_I$ ,  $T_{\max}$ ,  $O_I$ ) mogu dati značajne informacije o količini, tipu i produktivnosti kerogena što predstavlja jedan od ključnih koraka u određivanju naftno-gasne potencijalnosti. Kao što je prethodno napomenuto, značajne rezultate daju nam i mikroskopske analize pri čemu se uzorci uljnih šejlova analiziraju pod mikroskopom u normalnoj i fluorescentnoj svetlosti.

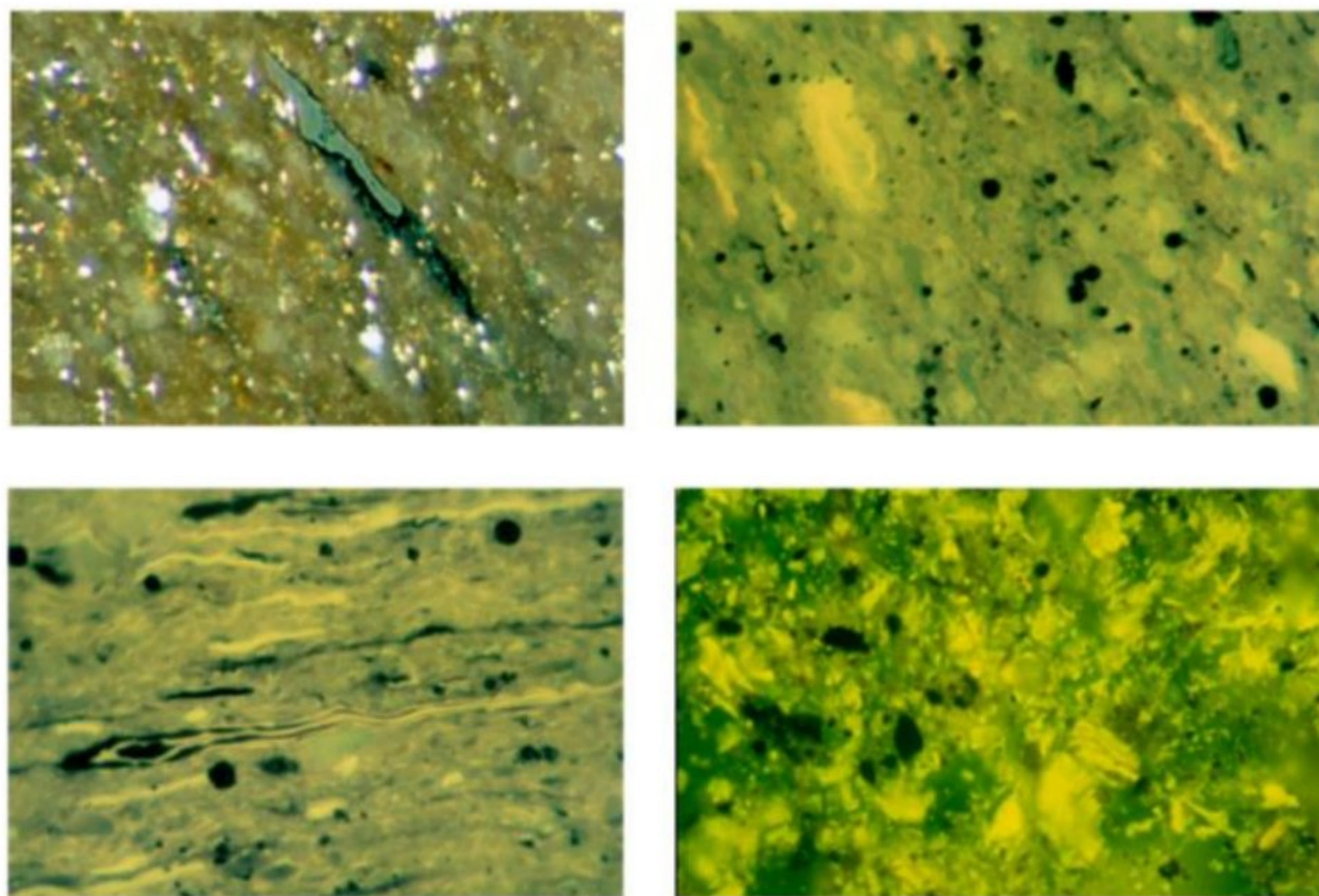
## **4. Procena kvaliteta i naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova „Aleksinca“**

Ležište uljnih šejlova „Aleksinac“ nalazi se u eksploatacionom području aleksinačkih rudnika mrkog uglja u Aleksinačkoj kotlini, između dve reke: Južne Morave i Moravice. Pruža se neposredno od grada Aleksinca

u pravcu sever-severozapada u dužini od 10 km a, površina produktivne serije je oko 20 km<sup>2</sup>. Prema osnovnim litološkim karakteristikama aleksinačka produktivna serija se uslovno može podeliti na: bazalni kompleks, peščarsko-glinoviti kompleks, glavni ugljeni sloj, glinovito-laporoviti kompleks koji čini ujedno i povlatu glavnog ugljenog sloja. Karakteristično je da je ovo ležište jedno od retkih ležišta uljnih šejlova u svetu u kome se slojevi uljnih šejlova nalaze sa slojem mrkog uglja u središnjem delu produktivne serije. Ležište „Aleksinac“ je sa nekoliko markantnih raseda podeljeno u tri rudna polja, pri čemu ona imaju sledeće prividne površine: polje „Dubrava“ – površine 2,67 km<sup>2</sup>, polje „Morava“ – površine 6,80 km<sup>2</sup> polje „Logorište“ – površine 4,19 km<sup>2</sup> [6]. Ispitivani uzorci uljnih šejlova uzeti su sa polja „Dubrava“.

Uljni šejlovi ležišta „Aleksinac“ kao i svi uljni šejlovi u Srbiji pripadaju grupi lamozita. Lamoziti predstavljaju uljne šejlove koji su vezani za jezersku sredinu taloženja u kojima je kerogen nastao od zelenih jezerskih algi *Botriococcus*, a dominantan maceral je lamalginit. To su listasti uljni šejlovi finoznog habitusa sa jako izraženom laminarnom mikroteksturom [1].

Procena kvaliteta i naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova „Aleksinca“ zasniva se na organo-petrografskim analizama koje uključuju i refleksiju huminita/vitrinita kao i na organo-geohemijskim analizama, u prvom redu na rezultate pirolize Rock-Eval. Rezultati navedenih analiza imaju poseban značaj u odredbi naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova „Aleksinca“, kao energetskog izvora za dobijanje sintetičke nafte i gasa.

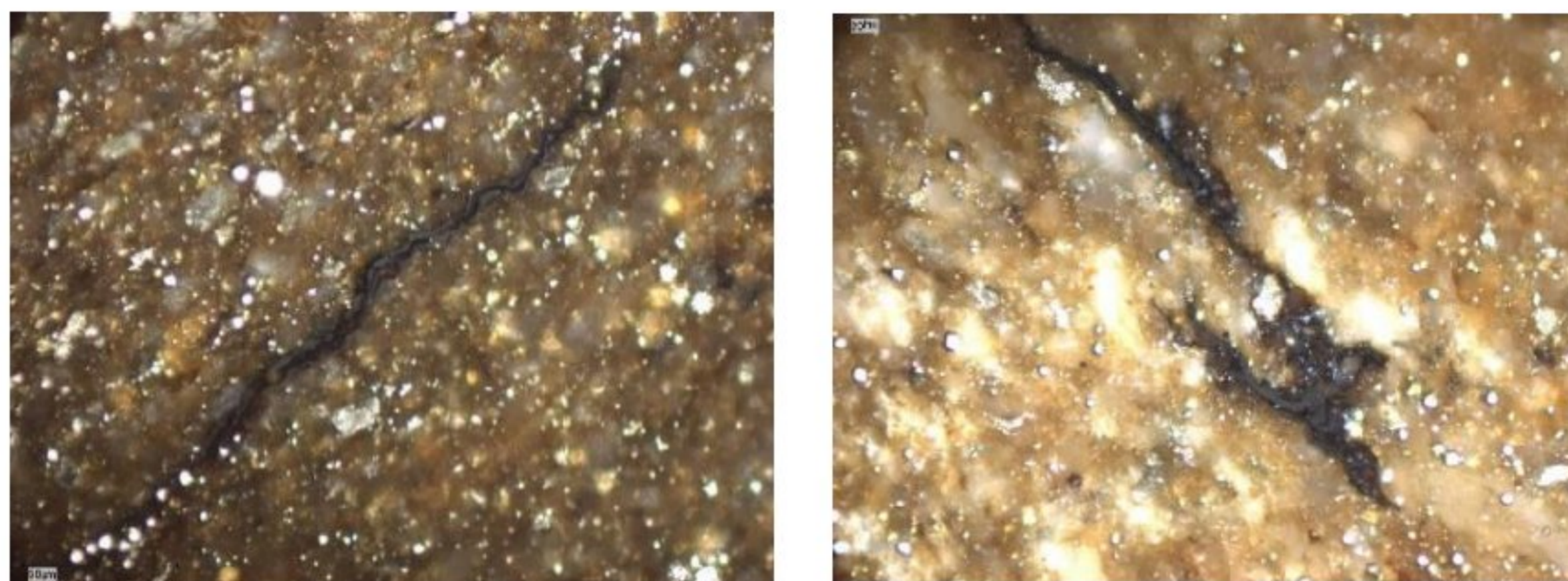


*Slika 1. Mikrofotografije uljnih šejlova Aleksinca u fluorescenciji.*

#### **4.1 Količina, tip i stepen zrelosti kerogena**

Sadržaj kerogena u povlatnom paketu uljnih šejlova kreće se između 12-24% , dok analize pokazuju da je podinski paket uljnih šejlova nešto bogatiji po sadržaju kerogena i samim tim prinosu ulja i sadrži 24 % 24% kerogena. Stepem zrelosti kerogena u uljnom šejlu „Aleksinca“ utvrđen je analizom refleksije huminita/vitrinita, zatim na osnovu fluorescencije alginita i merenjem CPI n-alkanske frakcije ugljovodonika C<sub>27-35</sub> [1]. Na slici 1 dat je prikaz mikrofotografija uljnih šejlova „Aleksinca“ u fluorescenciji [7].

Srednje vrednosti izmerenih refleksija huminita se kreću u opsegu od 0,40 % Rr do 0,41 % Rr sa veoma malim standardnim devijacijama ( $\pm 0,04$ ) [1]. Slične vrednosti izmerenih refleksija potvrđene su i novijim merenjima na uzorcima alksinačkog uljnog šejla i iznose 0,44 % Rr, sa standardnom devijacijom od ( $\pm 0,023$ ) [8].



*Slika 2. Mikrofotografije uljnih šejlova Aleksinca u normalnoj svetlosti.*

Takođe, treba istaći da su merenja refleksije i organo-petrografska analiza pokazale da ne postoje značajne razlike između huminita iz podinskog i povlatnog paketa uljnih šejlova. Prema navedenim rezultatima refleksije huminita može se zaključiti da je organska supstanca u uljnim šejlovima „Aleksinca“ na stadijumu dijageneze (izrazito niskom stadijumu zrelosti) tačnije ispod granice „naftnog prozora“ kojom se označava početak generisanja ugljovodinka u matičnim stenama za naftu i gas [9, 10].

Podaci dobijeni na osnovu spektralne fluorescencije liptodetrinita i alginita takođe potvrđuju nezrelost kerogena alksinačkih uljnih šejlova. Po sredi je amorfni tip kerogena koji pokazuje izrazito nizak intezitet fluorescencije (žuta, ređe žuto-narandžasta). [11].

Vrednosti CPI n-alkanske frakcije ugljovodonika za podinski paket uljnih šejlova iznose 2,57, dok su u povlatnom paketu nešto niže i imaju vrednost od 1,37. U oba slučaja se radi o nezreloj organskoj supstanci čime su potvrđeni ranije izneti rezultati ispitivanja zrelosti kerogena. Prema svim ovim parametrima uljni šejlovi „Aleksinca“ nalaze se na stadijumu dijageneze [2].

#### *4.1.1 Rezultati pirolize Rock-Eval*

Pored organo-petrografske analize rezultati pirolize Rock-Eval mogu dati značajne podatke o naftno-gasnom potencijalu. Na osnovu rezultata 20 ispitivanih uzoraka iz povlatnog i podinskog paketa uzetih sa polja „Dubrava“ zaključuje se da se vrednosti parametra TOC (ukupni organski ugljenik) u gornjem delu paketa sedimentata kreću od minimalnih 5 mas. % do maksimalnih 22 mas. %, dok se kod uzoraka iz donjeg paketa, vrednosti TOC kreću u intervalu od 2-40 mas. %, što ukazuje na ugljevitu seriju. Vrednosti parametra TOC pokazuju dominantno prisustvo kerogena tipa I u sedimentima, i ređe kerogena tipa II i III.

Parametar S1 sedimentata uljnih šejlova „Aleksinca“ takođe ima niske vrednosti, kao i parametar  $T_{max}$  što potvrđuje manju zrelost sedimentata (stadijum dijageneze). Njegova vrednost se kreće u intervalu od 0,06 – 3,63 mg HC/g stene. Generativni potencijal izražen pikom S2 ima vrednosti od minimalnih 46 mg HC/g stene do maksimalnih 191,58 mg HC/g stene i nešto je veći u ispitivanim uzorcima gornjeg paketa uljnog šejla, dok se vodonikov indeks odlikuje uglavnom visokim vrednostima koje se kreću u domenu od 84-955 mg HC/g TOC što ukazuje na izuzetno bogate uzorke sa kerogenom tipa I. Kiseonikov indeks (OI) prikazuje vrednosti koje se kreću u intervalu od 8 mg CO<sub>2</sub>/g TOC do maksimalnih 66 mg CO<sub>2</sub>/g TOC. Više vrednosti se odnose na uzorke sa manjom količinom TOC (uzorci siromašni kerogenom). Vrednosti  $T_{max}$  kreću se u domenu od 424 °C do 445 °C, a pošto su uglavnom po sredi uzorci sa kerogenom tipa I, to takođe potvrđuje stadijum dijageneze alksinačkih uljnih šejlova. Vrednosti neorganskog ugljenika kreću se u intervalu od 0,57 % do maksimalnih 4,49 % što prema litologiji dobijenoj na osnovu procentualnog sadržaja kalcita u sedimentima ukazuje na laporovitu do slabo karbonantu sredinu sa proslojcima gline [12]. U tabeli 1 prikazani su rezultati pirolize Rock-Eval.

**Tabela 1. Rezultati pirolize Rock-Eval**

Oznaka uzorka	Dubina (m)	S1 (mgHC/g stene)	S2 (mg HC/g stene)	S3 (mg CO <sub>2</sub> /g stene)	T <sub>max</sub> (°C)	HI (mg HC/g TOC)	OI (mg O <sub>2</sub> /g TOC)	TOC (mas.%)	MINC (mas.%)
Dub-02	20	0,50	45,99	1,00	440	874	18	5,26	4,49
Dub-03	26	1,24	95,19	1,00	439	792	12	12,01	3,80
Dub-08	41	2,55	172,44	1,50	442	908	10	18,99	2,50
Dub-13	51	2,78	189,31	2,30	444	955	8	19,82	1,40
Dub-14	53	3,63	191,58	2,50	441	848	11	22,59	4,10
Dub-18	61	1,46	121,56	3,10	439	854	10	14,23	1,82
Dub-23	71	0,88	83,55	2,10	437	761	11	10,98	1,57
Dub-28	81	0,36	34,20	2,10	432	515	50	6,65	1,19
Dub-34	92	0,85	73,93	4,40	439	803	8	9,21	1,76
Dub-36	96	0,47	30,98	1,00	440	704	17	4,40	1,70
Dub-38	100	1,37	135,81	1,00	445	925	10	14,68	1,00
Dub-52	166	0,06	3,81	1,20	441	176	66	2,17	0,62
Dub-55	171	0,37	51,86	1,1	439	615	12	8,44	0,19
Dub-56	175	0,62	90,69	1,10	442	839	9	10,81	0,71
Dub-60	183	1,05	147,36	1,10	441	820	8	17,97	1,23
Dub-65	193	0,06	3,27	1,20	438	120	56	2,74	1,10
Dub-66	195	0,73	46,55	3,20	430	325	24	14,34	0,57
Dub-70	203	0,84	152,59	6,10	434	488	22	31,27	1,55
Dub-77	237	0,44	66,13	15,00	431	165	28	40,15	2,07
Dub-78	293	0,09	12,60	5,20	424	84	29	14,99	0,57

#### 4.1.2 Sadržaj ukupnog ekstrakta i ugljovodonika

Za ocenu naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova aleksinačkog basena korišćeni su i podaci koji se odnose na rezultate dobijene na osnovu ukupnog ekstrakta i ugljovodonika. Prema njihovom sadržaju ne postoje bitne razlike između podinskog i povlatnog paketa uljnih šejlova „Aleksinca“, kao što je slučaj i kod izmerene refleksije huminita. Ukupan ekstrakt izražen u % na C<sub>org</sub> potvrđuje da se radi o povoljnom tipu kerogena koji se nalazi na niskom stadijumu zrelosti, odnosno na stadijumu dijageneze, dok je analizom sadržaja ugljovodonika u ekstraktu (%) potvrđeno da je on izrazito nizak pri čemu se nalazi na donjoj granici sadržaja koji je karakterističan za matične stene za naftu i gas [1].

#### 4.2 Prinos ulja

U periodu od 1979. do 1986. godine sprovedeno je sistematsko ispitivanje kvaliteta uljnih šejlova na velikom broju uzoraka iz istražnih bušotina, uključujući povlatni i podinski paket iz različitih delova ležišta. Ove analize omogućile su praćenje promena u kvalitetu uljnih šejlova pri čemu je primećeno da se pojedini slojevi odlikuju povišenim sadržajem organske supstance i prinosom ulja koji prelazi 18%, dok su drugi paketi sedimenata, debljine i do 10 m, sa manjim sadržajem organske supstance, imali prinos ulja u rasponu od svega 4-7 %. Prema klasifikaciji koju je postavio M. Ercegovac (1985) ležište uljnih šejlova „Aleksinca“ pripada grupi ležišta sa srednjim sadržajem ulja (8-15%) [1].

### **4.3 Elementarna analiza kerogena i sadržaj ukupnog sumpora**

Elementarni sastav kerogena omogućava bližu identifikaciju njegovog tipa i predstavlja značajan parametar za samu kalsifikaciju uljnih šejlova sa stanovišta geneze i kvaliteta. Prema izmerenim vrednostima može se zaključiti da se aleksinački uljni šejlovi odlikuju srednjim do povišenim sadržajem ukupnog sumpora u oba paketa (povlatni i podinski) od oko 4 %. Sadržaj ugljenika (C) - iznosi 76 %, vodonika (H) - 11,5 %, azota (N) - 3 % i kiseonika (O) – 4,5 % [2].

Kako bi se iz kerogena uljnih šejlova mogla dobiti optimalna količina ulja, potrebno je da on sadrži više vodonika, odnosno da se odlikuje visokim vrednostima atomskog H/C odnosa, u proseku od 1,8 do 2,0. Istovremeno je poželjno da sadržaj kiseonika, azota i sumpora bude što niži. U tom pogledu, prema dobijenim rezultatima, zaključuje se da aleksinački uljni šejl sadrži značajne količine ugljenika i dovoljno vodonika. Sadržaj kiseonika je gotovo duplo manji u odnosu na prisutnu količinu vodonika. Sadržaj sumpora iznosi 4 % ali se mora uzeti u obzir da je u pitanju količina ukupnog sumpora prisutnog u oba paketa uljnih šejlova „Aleksinca“ [1,5].

### **4.4 Toplotna vrednost, procenat vlage, hemijski sastav pepela**

Prema parametrima za ocenu kvaliteta koji su dobijeni tokom geoloških istraživanja ležišta uljnih šejlova „Aleksinca“ ono pripada grupi ležišta sa srednjim toplotnim vrednostima koje se kreću u opsegu od 5.000-6.300 kJ/kg za povlatni paket uljnih šejlova, odnosno grupi sa visokim toplotnim vrednostima za podinski paket sedimenata od 6.300-9.200 kJ/kg. Izmeren sadržaj vlage iznosi ispod 10 % što ga svrstava u ležišta sa niskim procentom vlage, dok u pogledu analize pepela svrstava se u grupu visokopepelnih ležišta (70-85%), odnosno prema hemijskom sastavu pepela pripada karbonatno-alumosilikatnoj grupi ležišta. [1] .

## **5. Zaključak**

Procena kvaliteta i naftno-gasnog potencijala uljnih šejlova ležišta "Aleksinac" predstavlja ključni korak u proceni njihove ekonomske održivosti, mogućnosti eksploatacije i ekološkog uticaja. Ova procena je zasnovana na detaljnim organo-geohemijskim analizama organske materije uljnih šejlova, kao i na organo-petrografskoj analizi, koja uključuje merenje refleksije huminita. Na osnovu dobijenih podataka procenjena je količina, tip i produktivnost kerogena u ispitivanim uzorcima. Takođe procenjen je prinos ulja, toplotna vrednost, hemijski sastav pepela, elementarni sastav kerogena, sadržaj sumpora i mineralni sastav produktivnog sloja šejlova iz ovog ležišta.

Rezultati pokazuju da su uljni šejlovi aleksinačkog basena nalaze na stadijumu dijageneze, a dominira povoljni kerogen tipa I (sapropelni tip), koji se odlikuje najvećim potencijalom za prinos ulja. Kod ovog tipa kerogena, procenat konverzije organske materije u ulje može prvazići 70 %. Organo-petrografska analiza, uz merenje refleksije huminita, potvrđuje da su uljni šejlovi u početnoj fazi zrelosti sa srednjom vrednošću refleksije od 0,40 do 0,44 % Rr, uz dominantno prisustvo kerogena tipa I. Prema rezultatima elementarne analize kerogena, povoljni parametri kvaliteta uključuju visok sadržaj ugljenika od 76 % , dok sadržaj sumpora, kao elementa zanjajnog za procenu ekološkog uticaja tokom prerade, iznosi oko 4% u oba ispitivana paketa uljnih šejlova (podinskom i povlatnom). Uz to, nizak procenat vlage, manji od 10 %, svrstava ova ležišta među ona sa niskim sadržajem vlage, što je važno i sa tehnološkog i ekološkog aspekta.

Prikazani rezultati procene naftno-gasnog potencijala i kvaliteta uljnih šejlova, mogu značajno doprineti daljim analizama ekonomske isplativosti eksploatacije, kao i razvoju ekoloških mera koje bi bile neophodne u slučaju eksploatacije i prerade ovog resursa.



## 5. Literatura

- [1] Ercegovac, M., 1990: „Geologija uljnih škriljaca“, RGF, Beograd, 180 str.
- [2] Ercegovac, M., i Vitorović, D., 1985: Uljni glinci Aleksinca: kerogen, bitumen i ocena naftno-gasnog potencijala. Zapisnici SGD za 1984. godinu, Beograd, 75-86.
- [3] Burger, J., 1973: L'exploitation des pyroschistes ou schistes itumineux. Rev. Inst. Fr. Petr. 28., no 3, 315-372.
- [4] Alpern, B., 1979: Schistes bitumineux reserves, petrographie, valorisation. Industrie minerale, 1-9, Paris.
- [5] Yen, T.E. i Chilingarian, G.V., 1976: Oil shale. Elsevier, Amsterdam.
- [6] Kostić, A., Ercegovac, M. i saradnici, 2008: Prognozna i geološko-ekonomska ocena resursa i rezervi fosilnih goriva Srbije – izveštaj za 2008. godinu, RGF, Beograd, 82 str.
- [7] Ercegovac, M., Vitorović, D., Kostić, A., Životić, D. and Jovančićević, B., 2009: “*Geology and Geochemistry of the Aleksinac Oil Shale Deposit (Serbia)*. Abstracts, Poster - P13, Advances in Organic Petrology and Organic Geochemistry”, Gramado, Brazil.
- [8] Bectel, A., Oberauer, K., Kostić, A., Gratzer, R., Milisavljević, V., Aleksić, N., Stojanović, K., Groß, D. & Sachsenhofer, R., F., 2017: Depositional environment and hydrocarbon source potential of the Lower Miocene oil shale deposit in the Aleksinac Basin (Serbia), Organic Geochemistry, Elsevier, 93-112.
- [9] Vasojević, N.B., Korchagina, Yu.I., Lopatin, N.V., Chernyshev, W.N., Chernikov, K.A., 1969: *Die Hauptphase der Erdobildung. Z. fur angew. Geol.*, 15, 12, 612-621.
- [10] Tissot, B., i Welte, D.H., 1978: Petroleum formation and occurrence. Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York, 583 p.
- [11] Hagemann, H., i Ercegovac, M., 1989: Spektralna fluorescencija liptinita uljnih škriljaca Srbije i Makedonije, Beograd.
- [12] Aleksić, N., 2015: Primena aparature Rock-Eva 6 u ispitivanju organske i mineralne materije sedimenata, na primeru uljnih šejlova „Aleksinca“, master rad, RGF, Beograd, 78 str.