

Miloš B. Živanov  
Miroslav D. Savičić  
Gavrilo M. Grbović

NIS NAFTAGAS, Novi Sad, Sutjeska 1

ODREĐIVANJE LITOLOSKOG SASTAVA STENA I TIPOVA MINERALA GLINA  
POMOĆU BUŠOTINSKOG SPEKTRALNOG ANALIZATORA PRIRODNOG GAMA ZRAČENJA

EVALUATION THE LITHOLOGY CONTENTS AND TYPES OF CLAY MINERALS  
USING DOWNHOLE SPECTRAL ANALYSER OF NATURAL GAMMA RADIATION

Sadržaj - Mikroprocesorski bušotinski spektralni analizator prirodne gama radioaktivnosti je deo nove generacije geofizičkog karotažnog sistema. Ovaj instrument analizira kompletan energetski spektar za dobijanje informacija iz nabušenih formacija. Prikazani su fizički principi merenja. Na osnovu rezultata merenja u jednoj bušotini određen je složen litološki sastav, zaglijnjenje formacije i tipovi minerala i glina.

Abstract - The microprocessor downhole spectrum analyser of natural gamma radiation is an important part of the new generation of geophysical well logging systems. This instrument produces complete energetic spectra of the penetrated formations. Here physical principles of logging are shown. Based on the logging results from one of the wells complex lithology was indentified, together with shale contents in the formations and types of clay and minerals.

## 1. UVOD

Geofizička karotažna merenja (GKM) kao grana primenjene geofizike, daju podatke o fizičkim svojstvima stena na mestu njihovog zaleganja ("in situ"), tj. u neizmenjenim prirodnim uslovima, pa samim tim pri dobro izbušenoj bušotini imaju prednost u odnosu na laboratorijsko izučavanje jezgra.

U novije vreme iz klasičnog i spektralnog gama karotaza razvijena je savremenija višekanalna spektralna analiza litološkog sastava formacija. Pri tome se spektri prirodnog gama zračenja primenjuju, osim za kvalitativnu i za kvantitativnu analizu. Kvalitativna analiza uključuje detaljnu stratigrafsku korelaciju, određivanje tipova stena različitih facija, dok se kvantitativna analiza upotrebljava za određivanje litološkog sastava stena, zaglijnjenosti kolektor stena i tipova minerala glina

## 2. PRINCIPI VIŠEKANALNOG GAMA SPEKTROMETRIJSKOG KAROTAŽA

Fizički principi. Gama zranci emitovani iz formacije potiču od raspada-  
nja radioaktivnog izotopa  $^{40}\text{K}$  i radioaktivnih nizova  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$ .  $^{40}\text{K}$  se  
neposredno raspada na stabilni  $^{40}\text{Ar}$  uz emitovanje gama zračenja energije  
1,46 MeV. Međutim,  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  se raspadaju preko niza promenljivih poto-  
maka pre prelaska u stabilni izotop olova. Ova dva izotopa emituju gama  
fotone različitih energija.

U praksi se pri izvođenju spektrometrijskog karotaža prirodnog gama  
zračenja  $^{238}\text{U}$  u principu raspoznaje na osnovu raspadanja njegovog potomka  
 $^{214}\text{Bi}$ , a  $^{232}\text{Th}$  na osnovu raspadanja njegovog potomka izotopa  $^{208}\text{Tl}$ . Karakte-  
ristični maksimumi energija u torijumovoj seriji su 2,62 MeV, a u uranovoj  
1,76 MeV [1]. Dakle, moguće je analizirati energiju registrovanog gama zra-  
čenja jasno opažati razliku između tri osnovna emitovana gama fotona. U  
slučaju  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  nužno je uzeti u obzir da je radioaktivni niz u vremen-  
skoj ravnoteži, tako da se elementi "potomci" raspadaju istom brzinom kojom  
su stvoreni. U promenljivom iznosu elementi  $^{40}\text{K}$  i elementi iz uranovog i to-  
rijumskog niza pronađeni su u formacijama kao sastavni delovi potencijalnih  
kolektora ugljovodonika [1, 2].

Principi merenja. Gama zranci emitovani iz formacije retko pristižu di-  
rektno u detektor, jer se sudaraju i gube energiju preko tri moguće interak-  
cije sa atomima formacije: stvaranjem parova, Komptonovim rasejavanjem i fo-  
toelektričnim efektom.

Zbog navedenih interakcija u formaciji, broj direktnih, netransformisa-  
nih gama fotona pristiglih na detektor je mali. Osim toga i u kristalu de-  
tektora dolazi do interakcije gama fotona, usled čega svi pristigli gama  
zranci ne predaju ukupnu energiju, pa je efikasnost i brzina brojanja u kar-  
akterističnim spektrima mala. Da bi se smanjio uticaj statističkih fluktuaci-  
ja povećana je dimenzija kristala, korišćeni su kristali veće gustine kao i  
bolje spektralne rezolucije, a primenjene su i ostale tehnike (automatska  
kalibracija i stabilizacija spektra, filtriranje signala, korišćenje sta-  
bilnije elektronike, smanjenje brzine merenja, itd. [3].

Izmereni energetske spektri se prostiru oko tri karakteristična maks-  
imuma energija: 1,46, 1,76 i 2,62 MeV i za jedan nivo posmatranja imaće od-  
ziv približno proporcionalan količinama  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  na toj dubini ( u  
nižim energetskim opsezima detektuju se i transformisani gama zranci emitov-  
ani od elemenata viših energija, što smanjuje tačnost merenja).

Radijus istraživanja zavisi od više faktora, pre svega od geometrije  
bušotine, gustine isplake, zapremnske gustine formacije, kao i od emitovane

energije gama zračenja iz formacije. Srednji radijus istraživanja varira između 10 i 15 cm [4].

Danas je u NIS NAFTAGAS-u u upotrebi nov kompenzovani instrument kompanije WESTERN ATLAS koji koristi ceo energetski spektar u 256 energetskih kanala.

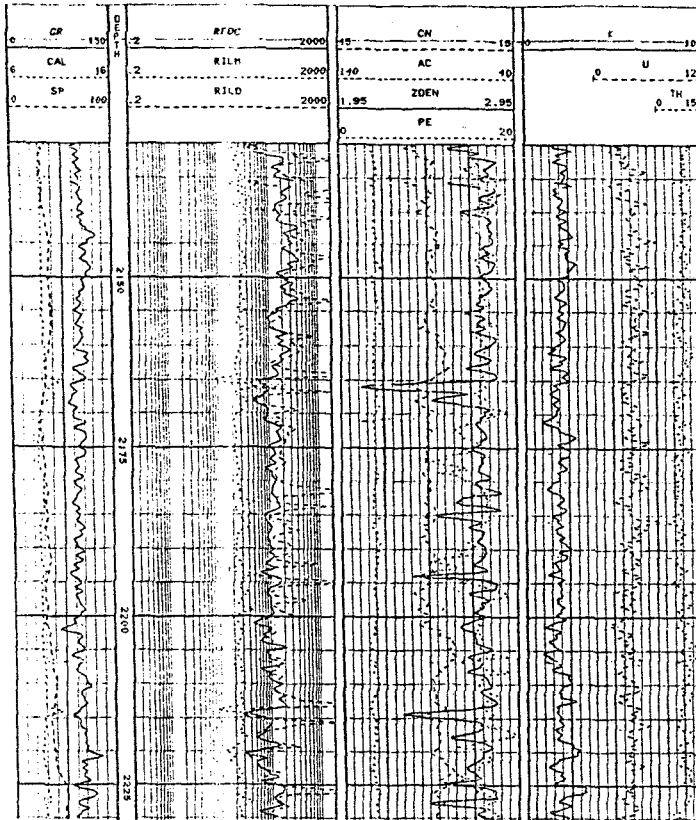
Merni sistem radi na sledećem principu: u kristalu NaJ(Tl) usled apsorpcije energije gama zračenja dolazi do pojave svetlosnih fotona (scintilacija) koji se u niskošumnom fotomultiplikatoru pretvaraju u električne impulse čija je amplituda srazmerna energiji upadnog gama zračenja. U A/D konvertoru vrši se digitalizacija analognih podataka koji se svrstavaju po energetskim kanalima pomoću mikroprocesora, kodiraju i šalju u površinski kompjuterizovan sistem gde se spektralni podaci obrađuju i prikazuju na monitoru i filmu i smeštaju na magnetnu traku.

Podaci spektralnog gama karotaža mogu biti predstavljeni na različite načine. Osnovna kriva ukupne gama radioaktivnosti prikazuje se u API jedinicama. Kriva kalijuma kalibrisana je u procentima, dok su krive urana i torijuma prikazane u ppm.

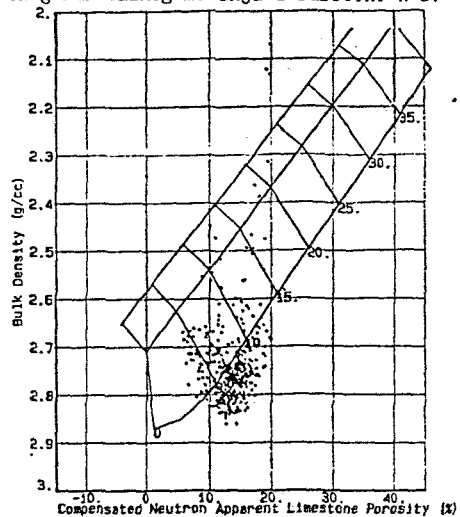
### 3. ANALIZA REZULTATA MERENJA U BUŠOTINI

Na sl.1 prikazan je dijagram složenog geofizičkog karotažnog merenja u zavisnosti od dubine u bušotini X-8 na jednom istražnom polju. GR predstavlja krivu prirodne gama radioaktivnosti u API jedinicama. CAL predstavlja prečnik bušotine od 152,4 do 406,4 mm (6 do 16 inča). Krive RFOC, RILM i RILD predstavljaju specifični električni otpor slojeva od 0,2 do 2000  $\Omega$  pomoću tri zahvata. CN predstavlja porozitet dobijen kompenzovanim neutronske merenjem u opsegu od -15 do 45 % poroziteta. ZDEN predstavlja zapreminsku gustinu od 1,95 do 2,95 g/cm<sup>3</sup>. AC je specifično vreme prostiranja ultra zvučnog talasa u opsegu od 130 do 460  $\mu$ s/m (40 do 140  $\mu$ s/ft). PE predstavlja krivu indeksa fotoelektrične apsorpcije od 0 do 20 x 10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup> (0 do 20 barn/elekt.). K, U i Th predstavlja krive kalijuma u %, urana i torijuma u ppm, koje su dobijene spektrometrijom prirodne gama radioaktivnosti.

Pri određivanju litološkog sastava kolektor stena u ležištu ugljovodnika koriste se različite metode. Jedna od metoda koje su korišćene je i upotreba dijagrama uzajamne korelacije (cross-plot). Na osnovu presečnog dijagrama ZDEN sa CN za dubine od 2130 do 2230 m, možemo zaključiti da se radi o kolektor stenama koje sadrže dolomite kao preovlađujuće, zatim krečnjake i teške minerale (sl.2). Ova analiza je vršena bez uzimanja u obzir merenja sa spektralogom. Detalni rezultati analize dati su na sl.3., gde se, takodje, vidi da preovlađuje mineral dolomita. Analiza mernih podataka vršena je

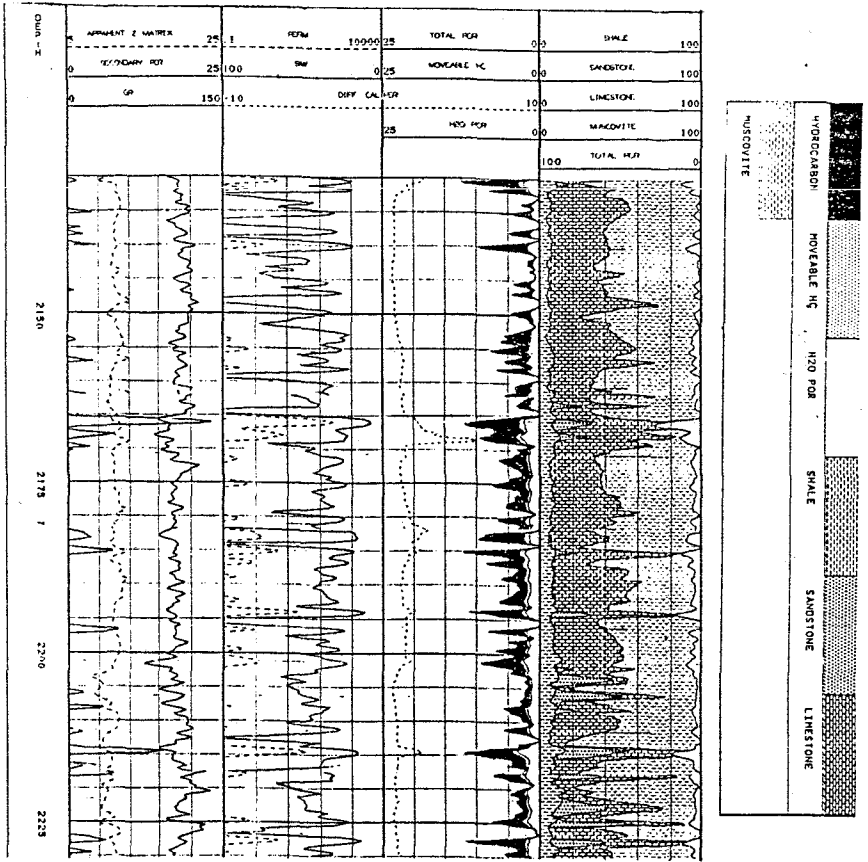


Sl.1. Dijagram složenog geofizičkog karotažnog merenja u bušotini X-8.

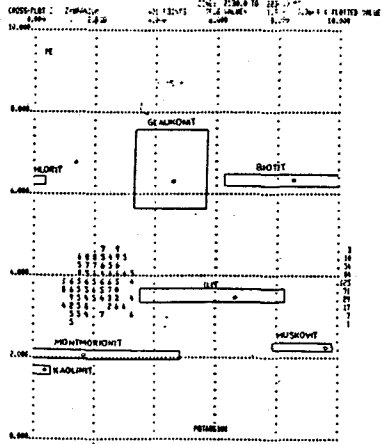


Sl.2 Presečni dijagram ZDEN sa CN u bušotini X-8.





Sl.5. Dijagram analize GKM u bušotini X-8 posle uzimanja u obzir spektralnog gama karotaža.



Sl.6 Presečni dijagram Pe sa K u bušotini X-8.

pomoću programa za kompleksnu geofizičku analizu ležišta (CRA) iz programskog paketa Well Data System (WDS), proizvod firme Western Atlas, Houston, koji se koristi u NAFTA GAS-u od 1989. god.

Na krivu ukupne prirodne gama radioaktivnosti najveći uticaj imaju vrednosti krivih kalijuma i torijuma. Ovi se uticaji smenjuju naizmenično sa dubinom. Na krivu kalijuma najveći uticaj imaju minerali ilit i muskovit, dok na krivu torijuma najveći uticaj imaju minerali kaolinit i montmorionit. Pored kvarca i kalcita minerali koji prevladaju su muskovit, ilit i kaolinit. Pomoću presečnih dijagrama krivih Th sa K (sl.4) i Po sa K (sl.6) mogu se odrediti vrste minerala glina, što ima važan uticaj pri eksploataciji ugljovodnika iz naftnih ležišta. Analiza na slikama 4. i 6. je data korišćenjem rezultata merenja sa spektrologom. Detaljna analiza sa merenjima sa spektralogramom data je na sl.5, gde se vidi da prevladaju minerali gline.

U zavisnosti od toga koja je litologija zastupljena u ležištu, uočava se razlika u veličini poroznosti. U primeru kada se u modelu koriste minerali glina, izdvajaju se zone u ležištu koje su nepropustljive ili slabo propustljive (sl.5), za razliku od modela gde nisu korišćeni minerali glina (sl.3). U intervalima gde imamo povećan sadržaj minerala glina uočava se smanjenje efektivne poroznosti. Zapreminsko učešće karbonata je neznatno povećano u slučaju kada se koriste krive spektrologa. Generalno posmatrano, vrednosti poroznosti su veće u slučaju kada se u modelu ne koriste minerali glina, odnosno podaci dobijeni spektrometrijom prirodne gama radioaktivnosti. Drugim rečima, korišćenjem kompleksa minerala glina postiže se suptilnija i detaljnija slika o kolektor stenama ležišta ugljovodnika. To znači da se mogu dobiti realnije vrednosti efektivnih poroziteta, pa samim tim i rezervi ugljovodnika.

## 4. ZAKLJUČAK

Korišćenjem podataka gama spektrometrijskog geofizičkog karotažnog merenja dobijeni su tačniji podaci o mineraloškom sastavu kolektor ste-na. Odnos zapreminskog učešća pojedinih minerala je realniji i tačniji, dok su vrednosti poroznosti neznatno umanjene, ali tačnije. Takođe je tačnije definisan geološki model ležišta ugljovodonika.

## LITERATURA

1. W.H.Fertl, Gamma ray Spectral Data Assists in Complex fortration evaluation, Dresser Division, Dresser Ind., Inc., Houston, Texas, 1979
2. W.H.Fertl, "Gamma Ray Spectral Logging: A New Evaluation Frontier, Dresser Petroleum Engineering Services, Dresser Ind., Inc., Houston., 1983
3. M.Savičić, S.Bojković, "Bušotinski spektralni analizator prirodnog gama zračenja", Prvi Jugoslovenski simpozijum o primeni matematičkih metoda i računara u geologiji i rudarstvu, Beograd, 1988
4. Tehnička dokumentacija NIS NAFTAGAS, Novi Sad.

## SKRAĆENICE U TEKSTU:

GKM	- geofizička karotažna merenja
WDS	- Well Data System, programski paket za analizu GKM merenja
CRA	- Program za kompleksnu geofizičku analizu ležišta
GR	- prirodna radioaktivnost, [API]
CAL	- prečnik busotine, [mm]
RFOC	- specifični električni otpor plitak merni zahvat, [ $\Omega$ m]
RILM	- specifični električni otpor srednji merni zahvat, [ $\Omega$ m]
RILD	- specifični električni otpor duboki merni zahvat, [ $\Omega$ m]
CN	- porozitet dobijen merenjem kompenzovanim neutronom, [%]
ZDEN	- zapreminsak gustina, [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]
AC	- specifično vreme prostiranja akustičnog talasa, [ $\mu\text{s}/\text{m}$ ]
PE	- indeks fotoelektričnog zahvata, [barn/elektron]
K	- sadržaj kalijuma, [%]
U	- sadržaj uranskog niza, [ppm]
TH	- sadržaj torijumskog niza, [ppm]