

САВРЕМЕНИ ТРЕНДОВИ РАЗВОЈА ГЕОФИЗИКЕ
Научни скуп одржан октобра 1996. године у Сава Центру
поводом 115 геологије и 50 година геофизике на
Универзитету у Београду

ЗБОРНИК РАДОВА

Издавач

*Рударско-геолошки факултет
Институт за геофизику*

Ликовно решење корица
Мирослав Ситарчевић

Univerzitetska biblioteka

I Br. 7-30339
KRAGUJEVAC

Технички уредник
Бојан Вучичевић

Тираж 300 примерака

Штампа

Штампарија САВА ЦЕНТАР

РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
Институт за геофизику

<i>С.Бојковић</i>	Трокомпонентни бушотински магнетометар	266
<i>Б.Вучичевић, С.Мартиновић</i>	Примена геофизичких каротажних система у анализи депозиционих средина	274
<i>В.Милејић, С.Мартиновић</i>	Примена геофизичких каротажних система у литофацијалној анализи	282
<i>С.Свијојановић, С.Мартиновић, Д.Иванчевић</i>	Пренос сигнала код система за мерење током бушења	289
<i>С.Свијојановић, С.Мартиновић, Р.Свијојановић</i>	Процена физичких својстава колектора угљоводоника диелектричним каротажним системима	296
<i>С.Свијојановић, С.Мартиновић, Р.Свијојановић, С.Кнежевић</i>	Примена нових геофизичких каротажних система у истраживању природно фрактурираних колектора	304
<i>З.Ракић, Д.Обреновић, С.Кнежевић, Р.Свијојановић</i>	Примена савремених каротажних метода у хидрогеолошким истраживањима	312
<i>М.Савичић, С.Мартиновић, Р.Свијојановић</i>	Предности интерактивне обраде и интерпретације података дипметра	320
<i>М.Савичић, С.Мартиновић, Р.Свијојановић</i>	Нови трендови интеграције и визуализације геофизичких каротажних података	326
<i>А.Удицки, Р.Шћула, В.Радман, Д.Мрша</i>	Примена акустичног каротажа у лоцирању зона повећаних порних притисака	334
<i>С.Миливојевић, И.Васиљевић</i>	Геолошко-геофизички модел ширег подручја планине Рудник	342
<i>Н.Тркуља, Д.Пауновић</i>	Истраживање дубоких структура у Јужном Банату	348
ИНДЕКС АУТОРА		352

TROKOMPONENTNI BUŠOTINSKI MAGNETOMETAR

TREECOMPONENT DRILLHOLE MAGNETOMETER

Slobodan Bojković

O.D. "Rudarski radovi", NIS - NAFTAGAS, NOVI SAD

Sadržaj: *Orientaciona sekcija karotažnog instrumenta za merenje pada slojeva može se iskoristiti i za merenje geomagnetnog polja. Merenja su vršena stacionarno, na mestima pretpostavljenih promena geomagnetnog polja, i to su prva merenja u bušotinama Jugoslavije. U ovom radu se analiziraju rezultati i daju preporuke za dalji rad.*

Ako bi se uradile određene modifikacije hardvera i softvera, omogućila bi se tačnija stacionarna, kao i kontinualna merenja x, y i z komponenti geomagnetnog polja. Na taj način, prikupljanjem relevantnih bušotinskih podataka, omogućili bi se najsavremeniji trendovi pri istraživanju ugljovodonika, kao na primer: magnetostratigrafija, preciznija lokalizacija uzroka geomagnetnih anomalija, korekcija karata geomagnetnih anomalija i praćenje puteva migracije ugljovodonika. Kao rezultat svega, postigla bi se tačnija procena perspektivnosti istražnog prostora.

Abstract: *Orientation module of well logging instrument for dip measuring, can be also used for measuring of geomagnetic field. Logging is performed stationary, at certain spots where changes of magnetic field were assumed, and these were the first geomagnetic well logging in Yugoslavia. This article contains analysis of the results, as well as recommendations for further steps.*

If some modifications of hardware and software were done, it would be possible to perform more precise stationary and continually logging of x, y, and z components of geomagnetic field. In that way, with acquisition of relevant well data, up to date trends in hydrocarbon exploration could be achieved, such as magnetostratigraphy, more accurate locating of the causes of geomagnetic anomalies, map corrections of geomagnetic anomalies, and tracing the migration paths of hydrocarbons. As a result of all, more precise estimation of exploration area could be achieved.

1. U V O D

Geomagnetna merenja u bušotinama omogućavaju praćenje promena geomagnetnog polja sa dubinom i otkrivanje uzroka anomalija, tj. položaja magnetnih tela koja se nalaze pored, u, ili ispod kanala bušotine. Merenja su uglavnom vršena pri istraživanju rudnih tela metalčnih mineralnih sirovina, jer su rezultati omogućavali bolju, ponekad jednoznačnu interpretaciju anomalija uočenih pri površinskim i aeromagnetnim merenjima.

Geomagnetna merenja u bušotinama obuhvataju merenja magnetne susceptibilnosti stena i geomagnetnog polja. Merenja geomagnetnog polja se svode na merenja anomalnog polja T_a , merenja horizontalne i vertikalne komponente polja T , odnosno, merenja x , y i z komponenti polja T . Vektor polja T čine: normalna komponenta sadašnjeg polja T_n i anomalna komponenta T_a , uzrokovana magnetnim mineralima i remanentnim magnetizmom stena, normalno ili inverzno polarisanih.

Za merenja geomagnetnog polja u bušotinama najčešće se koriste trokomponentni saturacioni magnetometri koji mere x , y i z komponente polja. Pri tome je z magnetometar u izvedenim instrumentima najčešće fiksiran u osi instrumenta, pa je pri merenju praktično u osi bušotine, a x i y magnetometri su pod međusobnim uglom od 90° i upravni su na osu bušotine. S obzirom da izbušeni kanal bušotine nikada nije vertikalna, horizontalna i vertikalna komponenta geomagnetnog polja moraju da se preračunavaju iz merenih podataka, a u zavisnosti od nagiba i azimuta nagiba bušotine. U prvim konstrukcijama instrumenata inklinometri su bili mehanički, ograničene tačnosti, te nije bilo moguće određivanje azimuta za nagibe manje od $2^\circ - 5^\circ$. Sada se koriste elektronski inklinometri sa trokomponentnim magnetometrima i akcelerometrima pa je donja granica nagiba bušotine, potrebna za tačno određivanje azimuta, smanjena na 1° .

2. SAVREMENI INSTRUMENTI ZA GEOFIZIČKA KAROTAŽNA MERENJA

Nagli razvoj mikroelektronike omogućio je primenu mikroprocesora i u instrumentima za geofizička karotaž (GFK). Time je u najkraćem postignuto sledeće:

- A/D konverzija na mernom mestu, u bušotini,
- digitalni prenos analognih veličina,
- slanje velikog broja podataka sa raznih mernih mesta,
- kvalitativno i kvantitativno proširenje mogućnosti instrumenata,
- veran prenos i malih analognih signala, što je ranije bio problem zbog indukovanja smetnji u provodnicima električnog kabla,
- dvosmerna komunikacija,
- tačnija kalibracija i stalna autokalibracija,
- praćenje potrebnih podataka za kvalitetan rad (napona napajanja, temperature u kritičnim delovima, itd.),
- linearizacija karakteristika senzora,
- povećanje tačnosti instrumenata,

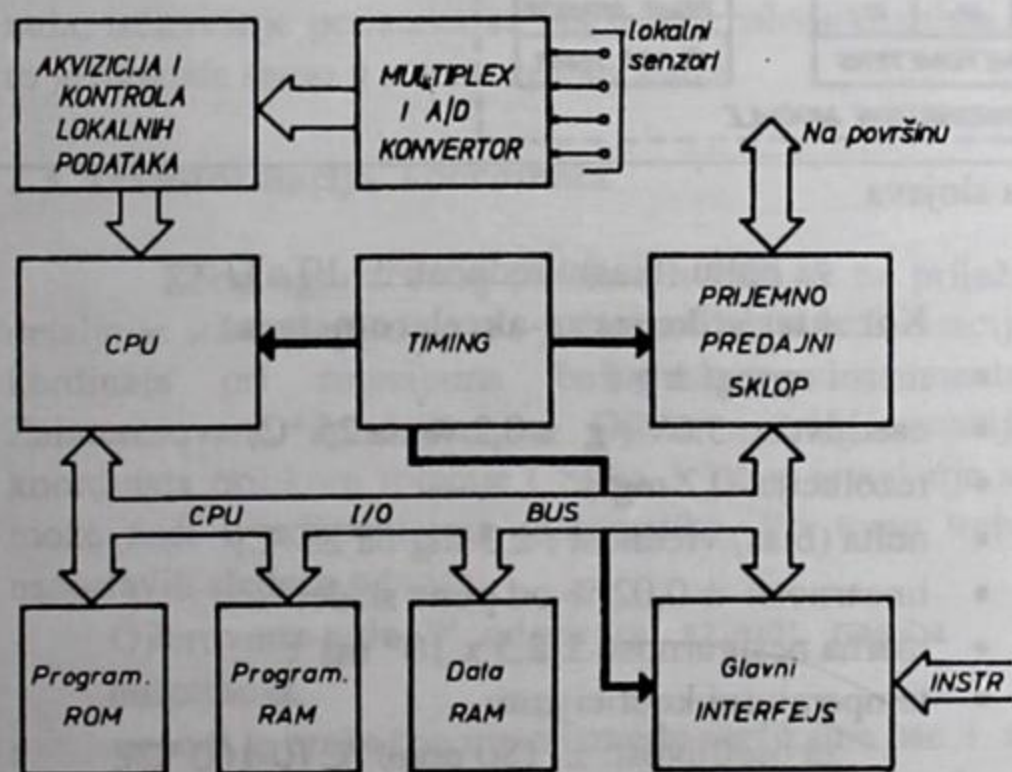
- obrada prikupljenih podataka u realnom vremenu.

Prema iznetom, digitalizacija je donela veliku promenu kvaliteta i omogućila povećanje mogućnosti karotažnih instrumenata za istraživanje ležišta ugljovodonika. Tako, na primer, digitalna induktivna sonda, pored aktivne, meri i reaktivnu komponentu formacije iz koje se dobijaju i podaci o magnetnoj susceptibilnosti. Kod instrumenata za merenje pada slojeva primena servo-akcelerometara za merenje tri komponente gravitacionog polja omogućila je povećanje tačnosti pri određivanju nagiba i azimuta kanala bušotine. Na taj način i merenje magnetnog polja magnetometrima iz orijentacione sekcije instrumenta postalo je moguće i svrsishodno, što autor u radu dokazuje.

2.1. Instrument za merenje pada slojeva firme "Western Atlas" - "Diplog"

Instrument za merenje pada (nagiba i azimuta pružanja) slojeva kompanije "Western Atlas" nosi zaštićeni naziv "Diplog". Nova verzija instrumenta razvijena je 1984. godine prvenstveno za potrebe modeliranja podzemnih struktura u neistraženim ili slabo istraženim oblastima, kao i za tačnije određivanje regionalnih padnih uglova struktura sa nagibom manjim od 5°. Sastoji se od univerzalnog telemetrijskog dela i dela za merenje pada slojeva.

Telemetrijski deo (sl. 1) obuhvata: prijemno - predajnu sekciju sa linijskim pojačavačima i Mančester koderom i dekoderom, deo za prikupljanje podataka sa lokalnih senzora i mikrokompjuter. Mančester koder-dekoder služi za kodiranje-dekodiranje digitalnih informacija. Digitalne reči su u ovom slučaju 20 bitne. Prva tri bita odredjuju način sinhronizacije, sledećih 16 je za podatke, a poslednji bit služi za proveru parnosti. Maksimalni kapacitet prenosa ugrađenog čipa iznosi 1,25 Mbit/s, ali je u instrumentu, s obzirom na osnovni takt od 2 MHz, omogućen prenos samo do 166,6 kbit/s. Mančester kod je standardni bipolarni kod za brzi prenos informacija (preko 100 kHz) koji koristi stanje "0" kod prelaza od niskog ka visokom nivou, a stanje "1" obrnuto.



Slika 1. Blok šema telemetrije

Mikrokompjuter je baziran na osmobicnom 6802 Motorolinom mikroprocesoru. Za sistemske i ostale stalne programe koristi se ROM memorija, a RAM memorije služe za memorisanje komandi i dodatnih programa ubačenih sa površine, kao i za prikupljanje podataka koji čekaju prenos na površinu. Povezivanje sa bušotinskim instrumentima ostvaruje se preko glavnog interfejsa. Instrument je konstruisan da radi kao univerzalni, ali je nagli razvoj mikroelektronike doprineo da je ubrzo funkcionalno zastareo, pa je ostao samo kao deo sonde za merenje pada slojeva.

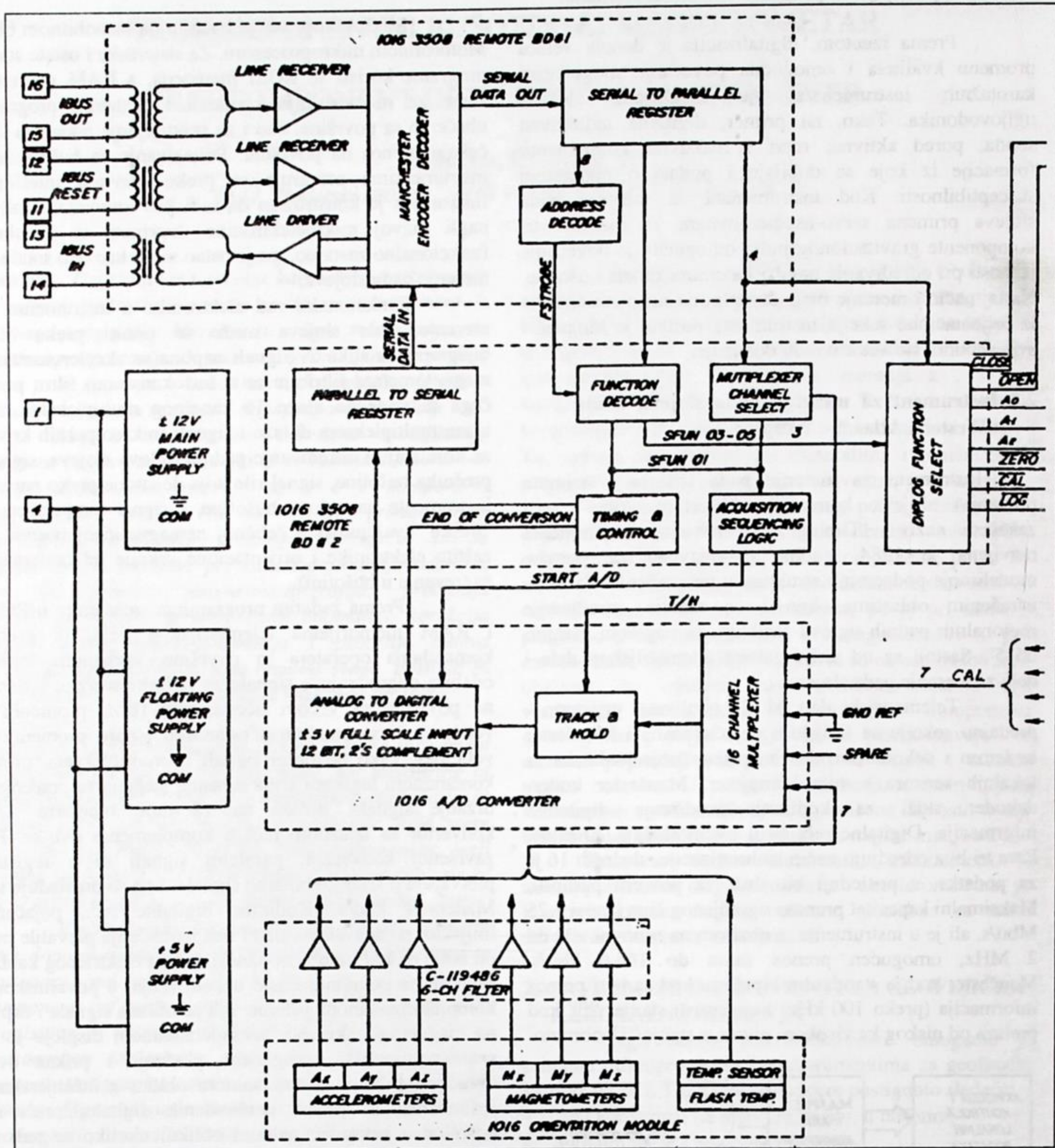
Funkcionalni rad elektronike u instrumentu za merenje pada slojeva može se pratiti preko blok dijagrama sa slike 2. Signali napona sa akcelerometara i magnetometara filtriraju se u šestokanalnom filtru posle čega se vode na ulaze 16 kanalnog multipleksera. Na ulaze multipleksera dolaze i signali mikrotopnih krivih za korelaciju i određivanje padnih uglova slojeva, signali prečnika bušotine, signal sile koja deluje preko papuča instrumenta na zidove bušotine, i signal temperature u "flesku" (vakuumskoj čeličnoj nemagnetičnoj posudi za zaštitu elektronike i orijentacione sekcije od preteranog zagrevanja u bušotini).

Prema zadatim programima smeštenim u ROM i RAM memorijama telemetrijskog dela, ili prema komandama operatera sa površine, komandna logika odabira odgovarajuće signale za A/D konverziju i slanje na površinu sa većom učestanošću (brzo promenljive veličine) ili sa manjom učestanošću (sporo promenljive veličine). Tako odabrani signali iz multipleksera, preko komandnom logikom kontrolisanog stepena za praćenje i držanje signala, dolaze na 12 bitni bipolarni A/D konvertor sa izlaznom reči u komplementu dvojke. Po završenoj konverziji, paralelni signali se u registru pretvaraju u serijske binarne signale, koji se prosleđuju na Mančester koder. Kodirane digitalne reči, pojačane linijskim pojačavačem, da bi bez izobličenja prevalile put od 6000 m, koliko obično iznosi dužina električnog kabla, šalju se na površinu. Posle dekodovanja, u površinskom kompjuterizovanom sistemu vrši se obrada signala i zapis na magnetnu traku. Na heksadecimalnom displeju je u svakom trenutku omogućeno praćenje i prikaz dve obrađene veličine u decimalnom obliku u inženjerskim jedinicama, ili prikaz neobrađenih digitalnih reči iz bušotine u heksadecimalnom obliku, ukoliko se radi o podacima koji se zbog ograničenja površinskog sistema ne zapisuju na magnetnu traku.

2.2. Orijetaciona sekcija

Za merenje padnih uglova slojeva, ili u ovom slučaju, za merenje geomagnetnog polja u bušotini, najvažnije su karakteristike senzora, odnosno orijentacione sekcije u celini. Za merenje gravitacionog i geomagnetnog polja koriste se servo-akcelerometri i saturacioni magnetometri bez mehaničkih delova, u vidu integralnih kola, sledećih opšti karakteristika:

- otpornost na udare: 50 g , 10ms, polusinusni talas ili 1000 g, 0,5 ms, polusinusni talas; ubrzanje sile teže $g = 9,806 \text{ ms}^{-2}$



Slika 2. Deo elektronske sekcije instrumenta za merenje pada slojeva

- otpornost na vibracije: 20 g, u opsegu 10-200 Hz;
- temperaturni opseg: 0-125 °C;
- trokomponentni ortogonalni sistem;
spojevi osa: $90^\circ \pm 0,2^\circ$ na 25 °C

Karakteristike magnetometara:

- merni opseg: $\pm 0,625 \times 10^{-4}$ T;
- osetljivost: $5,0 \text{ V} / 0,625 \times 10^{-4} \text{ T} \pm 0,5 \%$;
- rezolucija: 10 nT;
- nulta (bias) vrednost : $\pm 0,002 \times 10^{-4}$ T;
- linearnost: $\pm 0,2 \%$ od pune skale;
- merna nesigurnost: $\pm 0,003 \times 10^{-4}$ T;
- temperaturni koeficijenti:
za osetljivost: $\pm 100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$;

za nultu (bias) vrednost: $\pm 10 \text{ nT}/^\circ\text{C}$;

Karakteristike servo-akcelerometara:

- merni opseg: $\pm \text{g}$;
- osetljivost: $3,0 \text{ V} / \text{g} \pm 0,2 \%$ na 25 °C;
- rezolucija: 0,2 mg;
- nulta (bias) vrednost : $\pm 3 \text{ mg}$ na 25 °C;
- linearnost: $\pm 0,02 \%$ od pune skale;
- merna nesigurnost: $\pm 2,5 \times 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$;
- temperaturni koeficijenti:
za osetljivost: $\pm 180 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ (0-100 °C);
 $< 280 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ (100- 125 °C);
za nultu (bias) vrednost: $\pm 100 \times 10^{-6} \text{ g}/^\circ\text{C max.}$

Iz x , y i z komponenti geomagnetnog i gravitacionog polja izračunavaju se nagib i azimut nagiba bušotine, a posle korelacije sa mikrootpornim krivama nagib i azimut pružanja slojeva. Kod kontinualnih merenja pri brzinama instrumenta od 9 m/min, ukoliko se ne vrši temperaturna kompenzacija i linearizacija senzora, prema podacima proizvođača opreme, merna nesigurnost iznosi:

za nagibe: $\pm 0,25^\circ$,

za azimut: $< \pm 1,0^\circ$ za nagibe bušotine veće od 10° ,

$\pm 1^\circ$ za nagibe u opsegu $5^\circ - 10^\circ$,

$\pm 1,5^\circ$ za nagibe u opsegu $1^\circ - 5^\circ$,

ndefinisan azimut za nagibe manje od 1° .

Rezolucija za nagibe i azimute iznosi $0,1^\circ$.

Kao što je u delu 2.1. opisano, naponski signali sa x , y i z akcelometara i magnetometara šalju se u digitalnom obliku na površinu gde se vrši obrada u Perkin - Elmer - ovom 8/16 G 16 bitnom mikrokompjuteru. Mada je krajem sedamdesetih godina, kada je površinska oprema razvijena, bio najbolji sistem za otežane uslove rada, samo 25 različitih krivih (podataka povezanih po dubini bušotine) može se istovremeno registrovati na magnetnu traku, i to su obično obrađene veličine.

Isporučena servisna tabela za merenje pada slojeva, pored ostalih krivih, omogućava zapis nagiba bušotine, azimuta nagiba bušotine i z komponente ubrzanja sile teže, radi upoređivanja sa indikatorom težine i lokalizacije mesta zaglavlivanja instrumenta, ili naglih ubrzanja posle odglavlivanja u kanalu bušotine. Za dokazivanje kvalitetnog rada akcelometara koristi se intenzitet vektora gravitacionog polja izračunavan iz x , y i z komponenti. S obzirom da je intenzitet vektora magnetnog polja podložan promenama zavisno od mesta na zemljinoj kugli, za dokazivanje kvalitetnog rada magnetometara koristi se inklinacija koja je, praktično, stabilna veličina, zavisna od geomagnetne širine mesta.

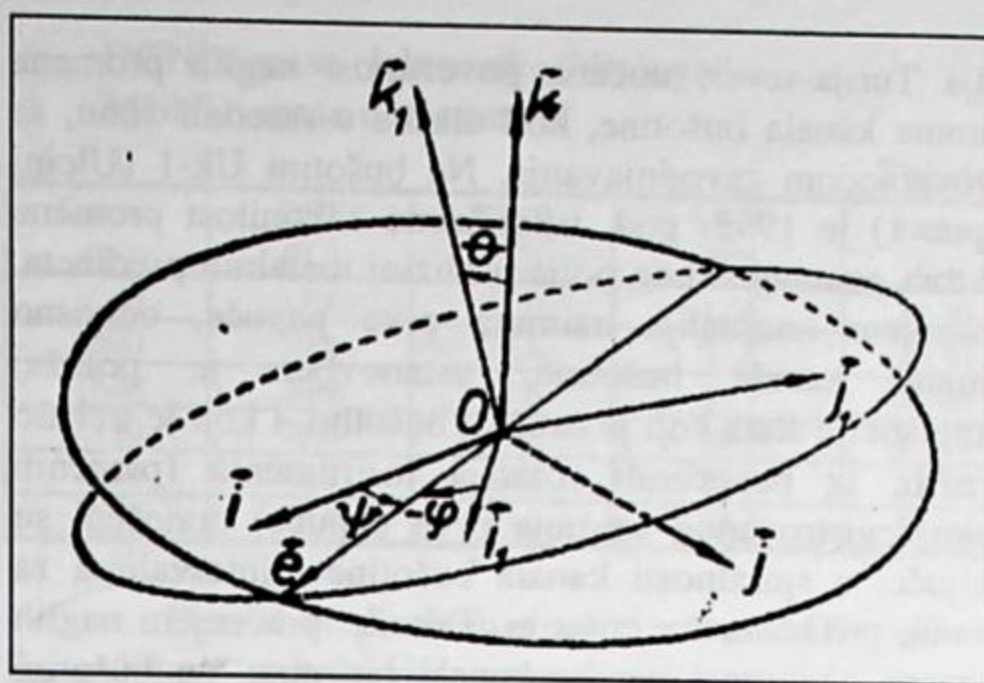
$\text{tg } I = 2 \text{ tg } \varphi'$, gde je φ' geomagnetna širina.

Prema iznetom, pošto se prema isporučenim servisnim tabelama x , y i z komponente geomagnetnog polja, i x i y komponente gravitacionog polja ne zapisuju na magnetnu traku, preostalo nam je, kao jedini način rada, isčitavanje podataka sa heksadecimalnog displeja, i to je moguće samo u stacionarnom stanju.

2.3. Transformacija koordinata

Zbog ograničenog prostora u radu se ne prilažu detaljnije slike, objašnjenja i jednačine za transformaciju koordinata pri rotacijama bušotinskog instrumenta. Zainteresovane upućujem na Ojlerovu transformaciju koordinata prilikom rotacije (Slika 3) čije izvođenje se može naći u udžbenicima matematike. Pri tome treba uspostaviti sledeće odnose:

- Ojlerovom uglu Ψ odgovara azimut nagiba bušotine α ,
- ugao θ je praktično ugao između vertikalne ose i z ose instrumenta. On odgovara nagibu bušotine β ,
- Ojlerovom uglu rotacije φ odgovara ugao rotacije instrumenta oko z ose, φ .



Slika 3. Ojlerovi uglovi

Senzori u x , y i z osama instrumenta pretvaraju x , y i z komponente polja, koje deluju na njih, u naponske signale X , Y i Z . Za gravitaciono polje postoje sledeći odnosi:

$$X_g = O_x x_g = -O_x g \sin\beta \sin\varphi,$$

$$Y_g = O_y y_g = -O_y g \sin\beta \cos\varphi,$$

$$Z_g = O_z z_g = -O_z g \cos\beta.$$

O_x , O_y i O_z su osetljivosti akcelometara i iznose 3 V/g . Iz gornjih jednačina se izračunavaju uglovi φ i β :

$$-\varphi = \text{arc tg } X_g / Y_g$$

$$\beta = \text{arc tg } (X_g^2 + Y_g^2)^{1/2} / Z_g$$

Iz merenih komponenti geomagnetnog i gravitacionog polja izračunava se azimut nagiba bušotine:

$$-\alpha = \text{arctg} \frac{Y_m \sin \varphi - X_m \cos \varphi}{X_m \cos \beta \sin \varphi + Y_m \cos \beta \cos \varphi - Z_m \sin \beta}$$

Za vertikalne bušotine sa nagibima $\beta < 1^\circ$ azimut nagiba bušotine se definiše kao azimut prve papuče AZ.

$$AZ = \text{arc tg } -X_m / Y_m$$

U gornjim jednačinama indeks g označava gravitaciono, a indeks m geomagnetno polje.

Za izračunavanje nagiba i azimuta sa tačnošću datom u delu 2.2. senzori moraju da budu upareni. Maksimalno dozvoljeno odstupanje osetljivosti magnetometara, odnosno akcelometara, iznosi 0,5%.

3. MERENJE GEOMAGNETNOG POLJA

Ideja o merenju intenziteta i položaja vektora geomagnetnog polja u bušotinama nastala je iz zahteva kompleksne problematike glavnog ležišta naftnog polja Turija-sever. S obzirom da je ležište u škriljcima i tektonizirano, autor je smatrao da je radi korelacija korisno utvrđivanje dejstva mlađe tektonike paludina i kvartara na sadašnji izgled ležišta. Takođe, u pojedinim bušotinama, na preparatima iz jezgara i iz "šlem" proba, kao i na karotažnim dijagramima, primećeni su vulkanogeni minerali (kojima nije poklonjena odgovarajuća pažnja) pa bi geomagnetska merenja i u takvim slučajevima mogla da daju dragocene podatke i da doprinesu rešavanju problema. Pošto je potreba dokazana, preostalo je omogućavanje merenja u bušotinama orijentacionom sekcijom instrumenta za merenje padnih uglova slojeva.

Podaci orijentacione sekcije su od strane autora rada i ranije korišćeni u cilju rešavanja trenutne problematike. Tako je 1992. god. na bušotinama naftnog

polja Turija-sever, uočena povezanost naglih promena azimuta kanala bušotine, kod ulaska u rasednu zonu, sa verovatnoćom zavodnjavanja. Na bušotini Uk-1 (Ulcinj kopno-1) je 1995. god. iskorišćena zakonitost promene vektora geomagnetnog polja u blizini metalnih predmeta. Praćenjem anomalija azimuta prve papuče, odnosno azimuta kanala bušotine, ustanovljen je položaj kompozicije alata koji je ostao u bušotini, i koji je trebalo izvoditi. Iz povećanih rotacija instrumenta (praćenih preko registrovanog azimuta prve papuče) donošeni su zaključci o spiralnosti kanala bušotine i intervalima za obradu, pre nastavka bušenja. Takođe, praćenjem naglih promena azimuta i nagiba kanala bušotine, na bušotini Uk-1 prognozirana su, i kasnijim radovima potvrđena, mesta zaglava bušačeg alata.

Radi utvrđivanja svrsishodnosti merenja geomagnetnog polja, pri standardnim merenjima pada slojeva praćeno je ponašanje z komponente geomagnetnog polja. Pošto su promene bile dovoljno velike i van područja grešaka instrumenta, pristupilo se stacionarnim merenjima. Prilikom spuštanja instrumenta na dno bušotine radi merenja pada slojeva, zaustavljalo se na određenim dubinama, izabranim prema pretpostavljanim promenama geomagnetnog polja, i očitavali su se podaci predstavljeni u heksadecimalnom obliku. S obzirom da metoda još nije zvanično prihvaćena, broj mernih mesta je bio minimalan, kao i broj ponovljenih merenja po završetku merenja pada slojeva. I pored malog broja podataka i manje pouzdanosti, može se reći da su dobijeni podaci zadovoljavajući i ohrabrujući.

3.1. PRIKAZ MERNIH REZULTATA

Prikazani su izmereni podaci sa dve bušotine, uz sledeća označavanja:

- H_m je intenzitet horizontalne komponente geomagnetnog polja u ravni normalnoj na osu instrumenta. Izračunava se iz jednačine:

$$H_m = (X_m^2 + Y_m^2)^{1/2}$$
- Z_m je intenzitet vertikalne komponente merene u osi instrumenta.
- T_m je intenzitet vektora geomagnetnog polja i ne zavisi od položaja instrumenta i transformacija koordinatnih sistema. Izračunava se iz jednačine:

$$T_m = (H_m^2 + Z_m^2)^{1/2}$$
- Z_g je intenzitet vertikalne komponente ubrzanja sile teže, merene u osi instrumenta.
- $I(QM)$ je inklinacija vektora geomagnetnog polja, a $g(QA)$ intenzitet ubrzanja sile teže. QM i QA služe za dokazivanje ispravnog rada senzora, odnosno pouzdanosti izmerenih veličina, i zapisuju se na magnetnu traku.
- DEV označava nagib bušotine, a DAZ azimut nagiba bušotine, u stepenima.

U tabelama 1, 2, 3 i 6 vrednosti napona H_m , Z_m , T_m i Z_g odgovarajućih komponenti polja, predstavljene su brojem kvanta A/D konverzije. Za napon napajanja +5V i 12bitni bipolarni A/D konvertor kvant konverzije iznosi 2,4414 mV. Zato za osetljivosti senzora iz dela 2.2., jednom kvantu konverzije geomagnetnog

polja odgovara 30,5 nT, a kvantu konverzije gravitacionog polja 0,008 ms⁻².

Već na prvi pogled pada u oči veliko povećanje merene Z_m vrednosti na dubinama od 460 m u tabelama 1 i 2, odnosno na 560 m u tabeli br. 3. Razlog je uticaj metala tehničke kolone prečnika 244,8 mm ugrađene do dubine od 452,4 m u prvom slučaju, odnosno do 551,0m u drugom slučaju.

Tabela 1

Dub. (m)	H_m	Z_m	T_m	I	Z_g	DEV	DAZ
1	2	3	4	5	6	7	8
460	703.6	1834	1964.3	68.5	1219	1.1	299
500	699.4	1426	1588.3	63.2	1219	1.2	305
700	690.3	1428	1586.1	63.1	1219	1.4	316
900	700.1	1425	1587.7	63.1	1219	1.1	310
1100	689.0	1426	1584.1	63.0	1220	1.0	319
1300	671.3	1435	1584.2	63.2	1220	1.8	344
1500	641.6	1457	1592.0	63.1	1218	3.2	350
1700	583.4	1479	1589.9	63.1	?	5.6	345
1900	604.5	1467	1586.6	63.3	1217	4.4	345
2000	631.0	1461	1591.5	63.2	1218	3.5	5
2050	618,2	1468	1592.9	63.1	1217	4.1	7

Tabela 2

Dub. (m)	H_m	Z_m	T_m	I	g	DEV	DAZ
460	717,8	1867	2000,0	68,4	992	1,3	297,7
500	713,5	1432	1599,9	62,9	991	1,3	300,7
700	704,8	1436	1599,6	62,9	992	1,4	313,8
900	700,6	1433	1595,1	63,3	991	1,0	311,6
1100	698,5	1433	1596,0	63,3	991	1,0	321,3
1300	679,3	1443	1594,9	63,2	991	1,8	330,1
1500	638,2	1464	1597,1	63,1	991	3,1	345,7
1566	901,0	1466	1720,8	63,0	990	3,7	345,4
1581	626,1	1480	1607,0	63,1	990	4,1	347,2
1596	1499	1679	2251,1	33,4	990	4,5	10,3
1611	875,1	1152	1446,7	76,6	990	4,6	325,6
1627	609,3	1480	1600,5	63,4	990	4,7	341,1
1700	585,4	1486	1597,2	63,3	990	5,6	341,0
1900	612,8	1473	1595,4	63,3	989	4,3	344,4
2000	623,0	1472	1598,4	63,1	989	4,0	356,4
2050	1034	1475	1801,3	63,0	989	4,3	5,8
2100	583,8	1484	1594,7	63,0	988	5,2	12,4
2150	577,8	1489	1597,2	63,2	986	5,8	11,3
2200	566,0	1493	1596,7	63,1	987	6,3	10,4
2250	566,0	1490	1593,9	63,1	986	6,3	10,0
2290	531,8	1502	1593,4	63,0	985	7,7	10,4

Upoređujući rezultate iz kolona 2, 3, 4, 7 i 8 tabela 1 i 2 vidi se da nagib i azimut bušotine imaju veliki uticaj na merene komponente geomagnetnog polja. Ako bušotina pada prema severu intenzitet Z_m merene z komponente raste, dok horizontalna komponenta smanjuje svoju vrednost. Međutim, ukoliko nema promene magnetne susceptibilnosti slojeva, intenzitet T_m geomagnetnog polja ne bi trebalo da se menja.

U tabeli 3 se uočava da nema naglih promena Z_m vrednosti pri povećanjima nagiba, jer bušotina na tim mestima pada prema zapadu.

Na istoj bušotini (Tabela 3) izvršena su i dva kontrolna merenja na dubinama od 700 i 650 m. Upoređenjem rezultata iz kolona 2, 3 i 4 vidi se da je na 700 m postignuto relativno dobro slaganje intenziteta vektora geomagnetnog polja, a veća razlika na 650 m jednim delom može da bude uzrokovana i većim uticajem

temperature na senzore. Vrednosti iz kolona 7 i 8 nam potvrđuju da je pri malim uglovima merenje azimuta nepouzđano. Na 700 m imamo pri ponovljenim merenjima smanjenje azimuta za 38°, a na 650 m smanjenje za 21°.

Tabela 3

Dub. (m)	H _m	Z _m	T _m	I	g	DEV	DAZ
1	2	3	4	5	6	7	8
560	728.3	1731	1878.0	65.3	998	0.2	313
650	736.8	1396	1578.5	62.2	998	0.1	168
700	751.3	1931	1580.9	62.1	998	0.6	222
800	760.7	1385	1580.0	62.0	998	1.1	227
900	759.9	1383	1578.0	62.2	997	1.8	240
1000	753.6	1387	1578.5	62.2	997	1.4	243
1100	745.1	1391	1578.0	62.3	998	0.9	244
1200	745.3	1386	1573.7	62.0	997	1.4	254
1300	750.7	1391	1580.6	62.1	997	1.8	259
700	750.0	1390	1579.4	62.3	997	0.6	184
650	742.7	1395	1580.4	62.2	997	0.3	147

U tabelama 1 i 2 prikazani su rezultati sa iste bušotine, ali sa merenjima ponovljenima u razmaku od 34 dana. Upoređujući podatke za nagib i azimut bušotine, vidi se da se rezultati uglavnom poklapaju ili prate, bez obzira što je u pojedinim intervalima proširen prečnik i promenjena geometrija bušotine.

H_m, Z_m i T_m komponente geomagnetnog polja u tabeli 2 su uvećane u odnosu na merenja iz tabele 1 zbog neispravnog "fleska" u telemetrijskoj sekciji (objašnjeno u daljem tekstu uz tabele 4 i 5). Usled povišene temperature došlo je do promene napona napajanja senzora, A/D konvertora i ostale elektronike. Povećanje je nastalo i zbog promene temperature orijentacione sekcije za više od 5°, usled dužeg zadržavanja u bušotini, jer su merenja ponovljena zbog nasjedanja instrumenta u kanalu bušotine, kao i zbog otkazivanja indikatora težine. (Automatskim registrovanjem temperature DFT u "flesku" elektronike, u kome se nalazi i orijentaciona sekcija, uz korišćenje kalibracionih krivih proizvođača, omogućila bi se temperaturna kompenzacija senzora).

Na bušotini su se dogodjale nezgode i dve instrumentacije izgubljenog alata. Konačno, u kanalu bušotine u intervalu 1589,0-1607,7 metara, odgurnut je u stranu alat u dužini 18,7m (prečnika 146 mm). Zato se na dubini od 1596 metara uočava veliko povećanje intenziteta merenog magnetnog polja. (Šteta je što merenja u zoni alata nisu obavljena bar na rastojanjima od po 2 metra). Takodje se uočavaju anomalije geomagnetnog polja na 1566 m, kao i na 2050 metara. Donji interval je proveren i potvrđeno je da se na dubini od 2045 metara nalaze zaostali metalni delovi alata.

Zbog velike osetljivosti akcelerometara na gore navedene štetne uticaje, prikazane vrednosti kvaliteta za akcelerometre su se menjale van dozvoljene granice od nekoliko kvanata.

Na istoj bušotini prikupljeni su podaci prikazani u tabelama 4 i 5 koji služe za praćenje rada instrumenta. Oznake su sledeće:

- DFT: temperatura u "flesku" elektronske sekcije,
- MFT: temperatura u "flesku" telemetrije,
- MHT: temperatura kućišta instrumenta,
- +5, +12 i -12V: naponi napajanja instrumenta,

- DGND: masa elektronike "diploga",
- MGND: masa u telemetriji.

Tabela 4

Dubina (m)	DFT (°C)	MFT (°C)	MHT (°C)	vreme (h)
0	17.8	21.0	17.6	19.30
500	19.4	25.6	37.6	20.30
1630	20.9	46.5	69.1	21.00
2290	23.6	81.6	98.7	22.30
1630	26.5	84.1	88.5	23.30
500	28.0	75.0	65.5	24.00

Drastično povećanje temperature MFT ukazuje da je "flesk" telemetrije izgubio vakuum i da ga treba zameniti. S obzirom da su elektronske komponente u telemetriji predviđene za najteže uslove rada (testirane su po vojnim standardima i na temperaturi od 125 °C) pri prenosu podataka nisu degradirane pristigle informacije. Medjutim, zbog promene napona napajanja usled temperature, dolazi do promene merenih vrednosti i do povećanja greške merenja.

Tabela 5

Dubina (m)	MGND (mV)	DGND (mV)	+5 (V)	+12.0 (V)	-12.0 (V)
0	0	0	5.008	11.972	12.050
500	0	0	5.008	11.972	12.060
1630	0	0	5.008	11.962	12.060
2290	2	0	5.000	11.962	12.050
1630	2	0	5.000	11.962	12.050
500	2	0	5.000	11.962	12.050

Glavnu teškoću u razumevanju dobijenih podataka izazivalo je nepoznavanje karakteristika senzora. Da bi se ustanovile kakarakteristike senzora i uspostavila veza između poznatih površinskih i izmerenih bušotinskih podataka, izvedena je improvizovana kalibracija na lokaciji servisa u Novom Sadu. Urađena je kalibracija akcelerometara orijentisanjem sva tri senzora u smeru gravitacionog polja, i pod uglovima od 90°, 180° i 270°. Dobijene su vrednosti za ubrzanje sile teže g koje se razlikuju samo 0,1 % od deklarisanе vrednosti za osetljivost od 3.0 V /g iz tehničke dokumentacije proizvođača (pribavljene kasnije).

Kod merenja geomagnetnog polja senzori su proveravani postavljanjem sonde horizontalno, vertikalno i pod uglovima od 10° i 28° prema vertikalnoj osi u pravcu geomagnetnog severa, istoka, juga i zapada, uz rotacije oko z ose. Vrednosti intenziteta geomagnetnog polja su se grupisale oko 1520 kvanata konverzije. Množenjem 1520 sa faktorom A/D konverzije od 2,4414 dobija se 3711 mV, a toj vrednosti pri osetljivosti od 5,0 V/ 62500 nT (podatak iz tehničke dokumentacije) odgovara magnetno polje jačine 46387 nT. S obzirom da su intenziteti vektora geomagnetnog polja u Vojvodini oko 46.650 ± 100 nT na prvi pogled je sve u redu i nema dilema. Ali ako se pogledaju rezultati jačine geomagnetnog polja u bušotinama na dubinama od 500 - 700 m, tabela 6, ispada da bi vrednost geomagnetnog polja na površini trebalo da iznosi oko 1575 kvanata. U protivnom, ako bi bilo 1520 kvanata, kako objasniti povećanje intenziteta polja za 55-80 kvanata, tj. približno 1677-2440 nT za 500 - 700 m. kada srednji vertikalni gradijent geomagnetnog polja iznosi samo 20,36 nT/km?

Tabela 6

Busotina	H_m	Z_m	T_m	Dubina (m)	I_r (°)
Mdjs-1	749,9	1389	1578,5	700	61,64
Jez-1	736,8	1396	1578,5	650	62,18
Bkz-1	708,5	1403	1571,8	550	63,21
Tus-45	722,1	1385	1561,9	495	62,46
Tus-45	752,0	1382	1573,3	825	61,45
Tus-48	711,7	1435	1601,8	510	63,62
Tus-60	699,4	1426	1588,3	500	63,87
Tus-60/1	713,5	1432	1599,9	500	63,51

Što se tiče uticaja bušotine, poznato je da je u kanalu bušotine merena vrednost horizontalne komponente polja H_m veća u odnosu na stvarnu H komponentu prema obrascu.

$$H_m / H = 1 + 4\pi\chi / 1 + 2\pi\chi$$

Međutim, pri vrednostima susceptibilnosti od 50 - 500 x 10⁻⁶ CGS, koje odgovaraju našim stenama, povećanje iznosi 0,01 - 0,3 % i zanemarljivo je u odnosu na dobijene razlike. Verovatno je i uticaj magneto-telurskih struja zanemarljiv, ali podatke o tome nisam uspeo da pribavim.

I kao što to obično biva, objašnjenje za dobijene razlike od preko 2000 nT bi moglo da bude prilično jednostavno. Naime, radi dobijanja što tačnijih rezultata, i zbog lakšeg rada, merenja u Novom Sadu su obavljena samo sa elektronskim delom instrumenta u kome se nalazi orijentaciona sekcija. Elektronski deo je postavljen na drvene stalke za kalibracije induktivnih sondi (na visini od 2,2m), ili oslanjan na njih pod raznim uglovima. Međutim, samo je kućište za zaštitu elektronskog dela dužine 2,9 m od nemagnetnog materijala. Telemetrijski deo iznad (dužine 2,5m) i "mendiril" sa papučama za mikrootporne krive (dužine 3,3m) ispod , su od legiranih čelika. Zato, prilikom merenja u bušotini, pod dejstvom metala dolazi do povećanja broja magnetnih linija sila u osi instrumenta, pa je merena Z_m vrednost uvećana. Analogno tome, uvećan je i intenzitet T_m merenog geomagnetnog polja .

Kao potvrda navedenog mogu poslužiti rezultati iz tabele 6 gde se uočavaju dve grupe bušotina: kod prve grupe bušotina intenzitet geomagnetnog polja iznosi oko 1575 kvanata, a kod druge oko 1600 kvanata. **Indikativno je da su bušotine iz prve grupe negativne.** Međutim, sve nije tako jednostavno i očigledno. Naime, na prve četiri bušotine nije meren pad slojeva, pa ispod dela od nemagnetnog materijala (u kome je smeštena orijentaciona sekcija) nije bio priključen "mendiril". Koliki je uticaj telemetrije, a koliki "mendrila" na merene rezultate geomagnetnog polja, tek treba utvrditi.

S obzirom da je za stratigrafiju bitna razlika magnetnog polja između susednih slojeva, štetno dejstvo metala koje otežava merenje tačne vrednosti polja postaje korisno, jer omogućava jasnije kontraste.

Da bi se u potpunosti dokazalo navedeno i razrešile dileme, treba ponoviti merenja na površini, ali u polju, u čistoj, magnetno neporemećenoj sredini, s obzirom da na lokaciji u Novom Sadu ima puno podzemnih i nadzemnih uzroka smetnji. Merenja treba izvesti sa priključenjem kompletne kompozicije instrumenata koji idu u bušotinu. Zatim, nekoliko bušotina treba izmeriti kompletno, od površine, pre

spuštanja tehničke kolone, da bi se dobili podaci i o najmlađim slojevima kvartara i paludina koji zbog zacevljenja nisu mogli do sada da se mere.

3.2. Zapažanja i preporuke za dalji rad

Osetljivost primenjenih magnetometara iznosi 1mV/ 12,5 nT, a rezolucija je 10 nT. Međutim, zbog primene osmobitnih mikroprocesora i 12 bitnog bipolarnog A/D konvertora rezolucija elektronskog sistema iznosi 1 kvant konverzije, ili 2,4414 mV. Zato rezolucija na površini drastično opada i iznosi 12,5 x 2,4414 ≈ 30,5 nT za magnetometre, odnosno 0,008 ms⁻² za akcelerometre .

Prema iznetom, prilikom A/D konverzije signala dolazi do gubitka informacije i smanjenja klase instrumenta u odnosu na mogućnosti orijentacione sekcije. Pa i pored toga, s obzirom da se u bušotini smanjuje uticaj spoljašnjeg polja, da se izbegava uticaj nadzemnih i podzemnih smetnji, i da smo se približili osnovnim uzrocima magnetnih anomalija, dobijeni podaci imaju veliku vrednost. Zato bi stacionarna merenja trebalo obavljati na svim bušotinama, dok se ne uradi modifikacija, i omoguće i kontinualna merenja.

S obzirom na niske vrednosti magnetne susceptibilnosti slojeva, na merenu Z_m komponentu polja najveći uticaj ima geometrija bušotine (nagib i azimut). Tako, na primer, pri nagibu od 4° prema geomagnetnom jugu (~ geografski sever) povećanje Z_m komponente iznosi oko 3,46 %. Ako je isti nagib prema geomagnetnom severu, merena Z_m komponenta se smanjuje za 4 %. Zato nagib i azimut kanala bušotine treba što tačnije određivati.

Kada se merena Z_m komponenta povećava, izmerena vrednost H_m horizontalne komponente se smanjuje, i obrnuto. Zato se prava slika o vertikalnoj i horizontalnoj komponenti geomagnetnog polja i inklinaciji može dobiti tek posle izvršenih transformacija koordinatnih sistema i svođenja na početni. Što se intenziteta T_m geomagnetnog polja tiče, jedino je on pri svim transformacijama pri rotaciji nepromenljiv i zato odmah uporedljiv.

Praćenje Z komponente gravitacionog polja je jednostavno, jer najviše zavisi od kosinusa nagiba bušotine. Sa povećanjem dubine, merena Z_g vrednost se uglavnom smanjuje.

Dosadašnja merenja su vršena u područjima antiformali, raseda i izrazitih geomagnetnih anomalija kao što su: Srbobran (Turija) ili Itebej (Međa). Merenjima i na drugim lokacijama dobiće se podaci za bolje praćenje geomagnetnih anomalija i njihovih uzroka.

Na kraju, evo i par preporuka za rad:

- Dok se ne izvrši modifikacija i omogući kontinualno merenje stacionarno bi se trebalo meriti u više tačaka, uz ponavljanje merenja.
- Ako bi se želeli podaci i za omogućavanje magneto-stratigrafije korak bi morao da iznosi 5 m.
- Merenjima treba obavezno obuhvatiti i stratigrafske granice kao na primer: paludin - gornji pont, gornji pont-donji pont itd.
- Potrebno je istovremeno očitavanje x i y komponenti

jer su kod njih moguće najveće greške, ukoliko dođe do rotacije instrumenta oko z ose.

- Merenja su tačnija kada se vrše odozdo na gore.
- Mada je primenjena temperaturna zaštita primenom vakuumske izolacije, i promena temperature nije veća od 8 °C posle tročasovnog rada instrumenta u isplačnom fluidu maksimalne temperature 100 °C, uticaj je znatan, pa ga treba računski korigovati.
- Radi spečavanja štetnog uticaja na male vrednosti signala magnometara i akcelerometara, softversku automatsku promenu pojačanja za praćenje dinamičkog opsega mikrootpornih krivih treba isključiti.
- Po mogućstvu, trebalo bi meriti sa istom konfiguracijom instrumenata.

3.3. Prednosti automatizovanih merenja

Kod stacionarnih merenja, kako su vršena, uvek ostaju sledeće dileme u pogledu tačnosti i verodostojnosti podataka, kao na primer :

- Da li se dovoljno čekalo na umirenje instrumenta?
- Da li su naredbe pravilno ukucane?
- Da li su podaci dobro očitani i zapisani?

Negativna okolnost je i to što je merenje pada slojeva ili krivine bušotine uvek poslednja operacija, kada su ljudi umorni posle više od 12 sati rada.

Da bi se dobili upotrebljivi i pouzdani podaci, treba izvršiti modifikaciju hardvera i softvera, i omogućiti automatizaciju procesa merenja. Prednosti takvog načina rada su sledeće :

- eliminisanje grešaka usled ljudskog faktora,
- kraće vreme za uzimanje neuporedivo većeg broja podataka,
- digitalna registracija svih značajnih podataka potrebnih za obradu,
- omogućavanje linearizacije karakteristika senzora i eliminisanje uticaja temperature na merene podatke,
- veća pouzdanost podataka izvođenjem ponovljenih kontinualnih, i po potrebi preciznih statičkih merenja,
- statistička obrada prikupljenih podataka,
- filtriranje merenih signala i izdvajanje signala potrebnih za magnetostratigrafiju.

Izrada modifikacije nije jednostavna, ali je zadatak ostvariv uz pomoć stručnjaka sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Možda bi svoj interes našao i proizvođač opreme "Western Atlas" pa bi mogao da nam da potrebne informacije i programe za modifikaciju softvera, a možda bi mogao da nam ustupi i kompletan softver?

U sledećoj fazi rada, moglo bi da se pokuša sa modifikacijom hardvera u bušotini. Ugradili bi se moćniji A/D konvertori i mikroprocesori. Na taj način bi se omogućilo i merenje gravitacionog polja.

Vodeće svetske kompanije za GFK, "Schlumberger" i "Western Atlas", u bušotinske instrumente već ugrađuju najsavremenije 22-bitne A/D konvertore rezolucije 0,5 μ V. Na taj način i na površini mogu da se razlikuju promene geomagnetnog polja od 10^{-2} nT, koliko iznosi rezolucija savremenih saturacionih magnetometara, pa su stvoreni preduslovi za primenu bušotinskih podataka i u magnetostratigrafiji. Ukoliko se

izvrši povezivanje svih podataka GFK, uz multidisciplinarni pristup, omogućava se i magnetostratigrafija.

4. ZAKLJUČAK

Koristeći orijentacionu sekciju instrumenta za merenje pada slojeva, izvedena su prva merenja geomagnetnog polja u bušotinama Jugoslavije. Dobijeni su korisni podaci, i radove na usavršavanju metode treba nastaviti iz sledećih razloga:

- Merenjem u bušotinama omogućava se veće isticanje uzroka anomalija, a eliminiše štetan uticaj nadzemnih i podzemnih instalacija i objekata na površinska merenja.
- Lakše je modeliranje, a obrada geomagnetnih podataka je preciznija.
- Omogućava se korekcija karata geomagnetnih anomalija.
- Bušotinski podaci se mogu koristiti i za magnetostratigrafiju na principu uočavanja i praćenja reverzija geomagnetnog polja.
- Moguća je i primena pri interpretaciji epigenetskih oreola iznad gasno-naftnih ležišta, radi efikasnijeg izdvajanja istog.
- Mogu se pratiti putevi migracije ugljovodonika, jer prilikom migracije dolazi do stvaranja magnetičnih minerala.
- Očekuje se da vodeće svetske kompanije za GFK u najskorije vreme objave da njihovi instrumenti prilikom merenja pada slojeva mere geomagnetno polje. S obzirom da fazorska induktivna sonda meri reaktivnu komponentu formacije, i analogno tome, magnetnu susceptibilnost, kompletni geomagnetni karotaž će se vršiti pri standardnim GFK merenjima.

Na osnovu svega iznetog, **najhitnije treba izvršiti modifikaciju površinskog hardvera i softvera radi omogućavanja kontinualnih, kao i preciznih stacionarnih merenja.**

5. LITERATURA

1. Tehnička dokumentacija firme "Western Atlas".
2. Stefanović D., 1978, *Geomagnetske metode istraživanja*, Geofizički institut, Beograd.
3. Starčević M., 1991, *Gravimetrijske metode istraživanja*, Nauka, Beograd.
4. Fedinskij V., 1964, *Razvedočnaja geofizika*, Nedra, Moskva.
5. *Magnitorazvetka*, 1990, Spravočnik geofizika, pod redakcijom Nikitskoga i Glebovskoga, Nedra, Moskva.
6. Telford W. et all, 1976, *Applied geophysics*, Cambridge University Press, London.
7. Parkinson W., 1983, *Introduction to geomagnetism*, Scottish Academic Press, London.
8. Hailwood E., 1989, *Magnetostratigraphy*, The Geological society, special report No.19.