AEROGAMASPEKTROMETRIJA

primena u geologiji i ekologiji

Milan Milojević



GEOINSTITUT

posebna izdanja, knjiga 13

UDK 550.837.7 + 55 (502)
ISBN 86-7156-001-5

GEOINSTITUT - BIBLIOTEKA
BEOGRAD
1

Milan MILOJEVIĆ

AEROGAMASPEKTROMETRIJA

Primena u geologiji i ekologiji

AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTROMETRY
APPLIED IN GEOLOGY AND ECOLOGY

GEOINSTITUT

POSEBNA IZDANJA, KNJIGA 13, Beograd, 1995.

Redakcioni odbor

Prof. Dr Adam DANGIĆ
Prof. Dr Aleksandar GRUBIĆ
Dr Branislav KRSTIĆ
Dr Milan MILOJEVIĆ
Dr Veljko OMALJEV
Dr Radule POPOVIĆ
Mr Milosav SIMIĆ

Glavni i odgovorni urednik

Dr Veljko OMALJEV

Recenzenti

Prof. Dr Dragoljub Stefanović
Redovni profesor Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu

Prof. Dr Miroslav Marković
Redovni profesor Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu

Lektor: Prof. dr Rade Božović

Korektor: Mirjana Ilić

Korice: Nikola Konstadinović

Инв. бр. 9028/1

Autor je naučno odgovoran za svoja izlaganja,
sva autorska prava su zadržana

U troškovima izdavanja ove monografije učestvovalo je:
MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOGIJU Vlade Republike Srbije
i REPUBLIČKI FOND ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

PREDGOVOR

Ova knjiga predstavlja sintezu moje magistarske i doktorske teze koje su bile rezultat desetogodišnjeg studioznog rada na uvođenju u rutinsku primenu metode **AEROGAMA-SPEKTROMETRIJSKIH (AGS)** *ispitivanja.*

Veliku pomoć pri uvođenju metode i koncipiranju prvih kompjuterskih programa za obradu podataka pružio mi je, u to vreme saradnik Instituta "Boris Kidrič" Dr Miroslav Jocković, čiji je program pod nazivom "GAMA" izdržao probu vremena i koji se i danas koristi.

U prvoj fazi primene metode AGS ispitivanja crtanje karata bilo je ograničeno isključivo na ručnu interpolaciju što je značajno uticalo na kvalitet zaključaka koje smo donosili.

Prva prekretnica u korišćenju podataka dogodila se 1983. godine onog trenutka kada je u ERC-u Rudarskog Instituta u Zemunu izvršena kompjuterska interpolacija podataka ispitivanja boksitonosnih terena Vlasenice. Ovaj rad uspešno su realizovali inž. Zdravko Jovanović, geofizičar, u to vreme saradnik Geoinstituta i Dr D. Bratičević saradnik Rudarskog Instituta.

Druga značajna prekretnica u korišćenju podataka terenskih ispitivanja dogodila se 1984. godine kada smo uspeli da izvršimo konverziju podataka sa sedmokanalnog zapisa, gustine 200 BPI, na devetokanalni zapis sa gustinom 6250 BPI. Ovo je izvršeno u računskom centru PTT-a zahvaljujući velikom angažovanju rukovodioca i programera M. Erića, diplomiranog matematičara. Od tog vremena nastupio je period automatizacije svih postupaka obrade podataka i izrade potrebne dokumentacije. Bilo je moguće organizovati rad na računaru VAX-11/750 i VAX-9000 što je i urađeno uz veliku pomoć rukovodilaca računskog centra Geofizičkog Instituta: Mr Slobodana Grkavca, geofizičara, Mr Dragana Šešlije, matematičara, i Mr Branislava Kontića, geofizičara.

Pri izradi kompjuterskih programa koji su podržavali algoritme obrade podataka značajnu pomoć pri realizaciji mojih ideja imao sam od programera ERC-a Geofizičkog Instituta matematičara Jelene Popović i programera Milivoja Zdravkovića. Ipak je programer Miroslav Dimić autor gotovo svih paketa programa od 1984. godine pa do poslednjih, urađenih sredinom 1992. godine.

Posebno značajan doprinos razvoju metode AGS ispitivanja dali su svojim radom, u laboratoriji Geoinstituta, na terenu pri realizaciji ispitivanja i pri pripremi podataka i njihovoj obradi u računskom centru, moji saradnici inž. Ivan Kočergin, geofizičar, inž. Zdravko Jovanović, geofizičar, inž. Milan Knežević, geofizičar, inž. Dušan Nikolić, geofizičar i tehničari Dakić Momčilo, Branislav Adamović, Božidar Jonak, Grgo Butirić, Aleksandar Spasić i Radoslav Antić.

Naredna prekretnica u shvatanju mogućnosti metode AGS ispitivanja dogodila se za vreme katastrofe u Černobilju. Tad smo shvatili da i kod nas postoje stručni, tehnički i ljudski potencijali koji bi omogućili efikasnu organizaciju metodskog postupka primene AGS ispitivanja u oblasti kontrole čovekove životne sredine.

U cilju razvoja kompleksnog postupka primene metode AGS ispitivanja pri kontroli stepena kontaminacije tla veštačkim izvorima gama zračenja 1990. godine uz pomoć Fonda za Geološka istraživanja Republike Srbije i Dr Branislava Krstića, realizovan je Projekat pod nazivom ***Razvoj metodskog postupka primene AGS ispitivanja u službi zaštite čovekove sredine.***

Pri realizaciji ovog projekta ključne kompjuterske programe napisao je dr Miroslav Starčević, geofizičar, sa kojim sam izvršio najznačajnija testiranja određenih modela značajnih za čitavu koncepciju.

Podvlačim poseban značaj podrške profesora Rudarsko-geološkog fakulteta dr Dragoljuba Stefanovića i dr Miroslava Markovića koji su me u datom periodu mog rada, kako pri izradi magistarske teze tako i pri realizaciji doktorske teze, nizom korisnih sugestija i zahteva usmeravali u najboljem pravcu koji je, evo, rezultirao i izradom ove monografije.

Sadržaj

1.0 Radioaktivan raspad 1
1.1 Alfa zračenje 1
1.2 Beta zračenje 2
1.2.1 K - zahvat 2
1.3 Gama raspad 3
2.0 Jedinice radioaktivnosti 4
2.1 Definicija jedinica SI sistema u metrologiji jonizujućeg zračenja 4

3.0 Zakon radioaktivnog raspada 6
3.1 Period poluraspadanja 6
3.2 Jednačina radioaktivnog niza 7
3.3 Radioaktivni niz urana-238, urana-235 i torijuma-232 7

4.0 Radioaktivna ravnoteža 12

5.0 Promena intenziteta gama zračenja u funkciji visine 14

6.0 Geometrija merenja gama zračenja 16

7.0 Polje "vida" detektora gama zračenja 18

8.0 Metodologija aerogamaspektrometrijskih ispitivanja 19

9.0 Detekcija gama zračenja 22
9.1 Scintilacioni detektori 23
9.2 Analiza visine impulsa 24

10.0 Spektrometrija gama zračenja 25

11.0 Kalibracija spektrometara gama zračenja 26
11.1 Standardizacija kalibracionih etalona 33

12.0 Prijem, analiza i registrovanje podataka 34

13.0 Obrada podatataka aerogamaspektrometrijskih ispitivanja 35
13.1 Otklanjanje osnovne radijacije 35
13.2 Otklanjanje uticaja "komptonovog" efekta 36
13.3 Otklanjanje uticaja radioaktivnog gasa radona 36
13.4 Korekcija podataka zbog visine ispitivanja 36

14.0 Međusobni uticaj gama zračenja i materije 37
14.1 Komptonov efekat 38

15.0 Osnovna radijacija 39
15.1 Radioaktivnost letilica i njihovih instrumenata 39
15.2 Kosmičko zračenje 39
15.3 Radioaktivno zračenje radona 40

16.0 Analiza podataka AGS ispitivanja 42
16.1 Pridruživanje koordinata svakoj merenoj tački 42
16.2 Određivanje karaktera distribucije radioaktivnog gama zračenja 42
16.3 Statistička analiza podataka 42
16.4 Izračunavanje statističkih veličina 43

17.0 Prikaz rezultata aerogamaspektrometrijskih ispitivanja 46
17.1 Karte intenziteta gama zračenja različitih parametara 46
18.0 Prirodna radioaktivnost 48

19.0 Kontaminacija životne sredine prirodno radioaktivnim izvorima 52
19.1 Spektar prirodnog gama zračenja 57
19.1.1 Energetske linije izotopa kalijuma-40 58
19.1.2 Energetske linije gama emitera radioaktivnog niza urana-238 59
19.1.3 Energetske linije gama emitera radioaktivnog niza torijuma-232 61

20.0 Geološke pretpostavke primene metode AGS ispitivanja 63
20.1 Geološki tipovi uranskih ležišta 63
20.2 Geohemija urana 64

21.0 Osnovni principi interpretacije rezultata AGS ispitivanja prirodnih radioaktivnih izotopa 66

22.0 Primena metode AGS ispitivanja pri istraživanju urana na planini Kukavici 67

23.0 Primena metode AGS ispitivanja pri istraživanju boksita Vlasenice 80

24.0 Primena metode AGS ispitivanja pri istraživanju olova i cinka na rudnom polju "Rudnik" 95

25.0 Primena metode AGS ispitivanja pri istraživanju bakra u Timočkom magmatskom kompleksu 101

26.0 Primena metode AGS ispitivanja pri istraživanju nafte i gasa 107

27.0 Primena metode AGS ispitivanja u cilju prikupljanja dodatnih informacija
pri geološkom kartiranju.....112

28.0 Veštačka radioaktivnost 115
28.1 Nuklearna fisija 118
28.2 Nuklearni reaktori 119
28.3 Fisioni proizvodi 120
28.4 Atomska - fisiona termonuklearna bomba 121
28.5 Energetske linije veštačkih radioaktivnih izotopa 121

29.0 Kontaminacija životne sredine veštačkim radioaktivnim izotopima 124

30.0 Otklanjanje uticaja prirodne radioaktivnosti 128

31.0 Svetska iskustva u primeni kontrole iz vazduha prirodne i veštačke gama radioaktivnosti tla ... 133
31.1 Organizacija kontrole životne sredine u SAD 133
31.2 Pad satelita "KOSMOS-954" i razlozi primene metode AGS ispitivanja 134
31.3 Primena metode AGS ispitivanja u Švedskoj za vreme havarije u Černobilju 136
31.4 Kontaminacija teritorije Finske za vreme havarije u Černobilju 137
31.5 Jugoslovenska koncepcija utvrđivanja kontaminacije tla prirodnim
i veštačkim radioaktivnim izotopima 138

32.0 Algoritam "EKOLOGIJA" 141
32.1 Datoteka "Prirodno gama zračenje" 142
32.2 Datoteka "Veštačko gama zračenje" 144
32.3 Izračunavanje parametara uticaja prirodnog gama zračenja na podatke veštačkog gama zračenja metodom "korelacije" 150

33.0 Krucijalni opit algoritma "EKOLOGIJA" 157
33.1 Rezultati krucijalnog opita algoritma "EKOLOGIJA" 158
33.2 Meteorološke karakteristike ispitivanog terena pre, za vreme i posle havarije u Černobilju 173
33.3 Diskusija rezultata krucijalnog opita 175

34.0 Organizacija kompleksnog monitoring sistema na nivou jedne države 177

Rezime 181
Symmary 184
Literatura 187

UVOD

Geološka istraživanja različitih mineralnih sirovina na potpuno ili delimično neistraženim terenima danas se u svetu ne mogu zamisliti bez primene RADIOMETRIJSKIH metoda, koje omogućavaju određivanje sadržaja radioaktivnih elemenata u stenama.

BEKEREL je 1896.godine otkrio radioaktivnost, godinu dana pošto je RENTGEN 1895. godine otkrio (X)-zrake.On je utvrdio da minerali koji sadrže URAN, kao i SOLI URANA, emituju zračenje koje prolazi kroz materiju, neprovidnu za dnevnu svetlost, i koji mogu izazvati foto emulziju na sličan način kao i (X)-zraci. Bekerel je kasnije utvrdio da je radioaktivno zračenje karakteristika uranske komponente i da ono jonizuje gas.

Ubrzo su otkriveni i drugi radioaktivni elementi. Tako su MARIJA I PJER KIRI 1898. godine, prilikom istraživanja minerala urana, otkrili dva nova radioaktivna elementa: POLONIJUM i RADIJUM, koji su bili mnogo aktivniji nego uran.

U isto vreme, ŠMIT je otkrio da je TORIJUM radioaktivan, a DEBIERN je otkrio novi radioaktivan element - AKTINIJUM. Mada u prirodi postoji najmanje 20 prirodno radioaktivnih elemenata, URAN, TORIJUM i izotop KALIJUMA-(K-40) su od najvećeg značaja za istraživanja u geologiji.

Takođe se koriste elementi RUBIDIJUM i STRONCIJUM za određivanje starosti stena. Ostali su retki ili slabe aktivnosti tako da nisu od značaja.

Proučavanjem fenomena radioaktivnosti, jedne od fizičkih osobina nekih elemenata, došlo se do saznanja da je moguće razviti različite metode DIREKTNIH istraživanja radioaktivnih elemenata U, Th i K, a, takođe, i metode INDIREKTNIH istraživanja drugih korisnih mineralnih sirovina.

Uporedo sa istraživanjem i otkrivanjem novih prirodno radioaktivnih elemenata proučavani su geološki i geohemijski procesi pod kojima su oni stvarani. Utvrđene su relacije između pojavljivanja radioaktivnih minerala, ruda i ležišta korisnih mineralnih sirovina, sa jedne strane, i različitih geoloških formacija i njihovih uslova formiranja, sa druge strane. Uočeno je, takođe, da postoji jasna i bliska veza različitih geohemijskih procesa i formiranja različitih ležišta mineralnih sirovina i radioaktivnih minerala. Ta veza je omogućila formiranje novih metoda istraživanja baziranih na merenju intenziteta prirodne radioaktivnosti, određivanju anomalija te radioaktivnosti i povezivanju anomalija radioaktivnosti sa geohemijskim procesima koji su mogli doneti i druge elemente i formirati njihova ležišta.

Razume se, u početku je primena ovih metoda bila ograničena samo na istraživanja radioaktivnih mineralnih sirovina. Kasnije, radiometrijske metode su počele da se, sa uspehom, koriste pri istraživanju BAKRA, OLOVA I CINKA, ZLATA, MOLIBDENA, BOKSITA, VOLFRAMA, DIJAMANATA, NAFTE I GASA kao indirektne metode istraživanja. Istovremeno je uočena i mogućnost primene radiometrijskih metoda za određivanje geoloških granica različitih litoloških sredina.

Pored navedenog, radiometrijske metode veliki značaj imaju, u novije vreme, u ekologiji, pri kontroli čovekove životne sredine.

U principu, radiometrijske metode mogu se primenjivati IZ VAZDUHA, NA POVRŠINI zemlje i U DUBINI zemlje (bušotine i rudnici).

Iz prirode radioaktivnog zračenja slede različite varijante radiometrijskih metoda kao što su EMANACIONA, ALFAMETRIJSKA i GAMAMETRIJSKA.

Merenje gama zračenja može se vršiti na dva različita načina i to:

-kao metoda ispitivanja intenziteta UKUPNOG radioaktivnog gama zračenja i

-kao metoda ispitivanja SPEKTRA prirodnog gama zračenja.

Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti koje ih favorizuju prilikom rešavanja određenih geoloških problema.

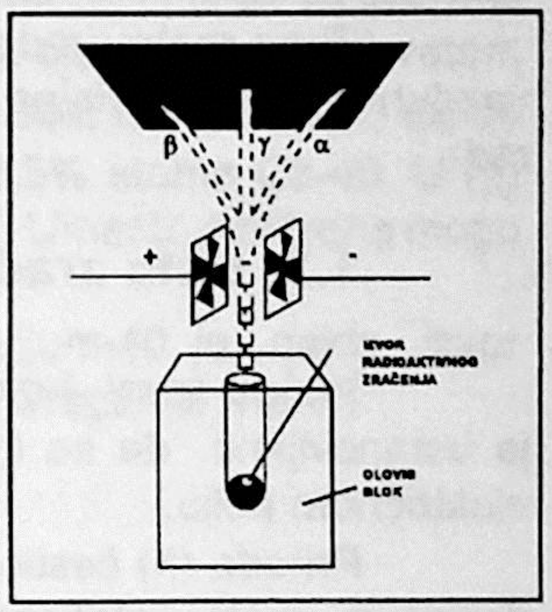
Predmet obrade ovog rada, u prvom delu, biće prikaz teorijskih osnova metode aerogama-spektrometrijskih ispitivanja, načina obrade, analize i prikaza registrovanih podataka. U drugom delu biće analizirani rezultati primene ove metode pri istraživanju radioaktivnih mineralnih sirovina: urana, boksita, bakra, olova i cinka, nafte i gasa. Na kraju, biće prikazani rezultati primene metode aerogama-spektrometrijskih ispitivanja pri rešavanju problema određivanja položaja TAČKASTIH veštačkih radioaktivnih izotopa, i položaja, vrste i intenziteta POVRŠINSKIH radioaktivnih kontaminacija tla pri kontroli čovekove životne sredine.

1.0. RADIOAKTIVAN RASPAD

U primenjenoj nuklearnoj fizici pojava nestabilnosti jezgra naziva se radioaktivnošću, a transformacije koje trpe radioaktivni izotopi zovu se radioaktivnim raspadom.

Osnovni tipovi radioaktivnih raspada su: ALFA raspad, BETA raspad, SPONTANA FISIJA i GAMA raspad.

Pri svakom od ovih raspada dolazi do transmutacije elemenata koja je praćena emisijom odgovarajućih čestica ili elektromagnetnog zračenja koje je nazvano radioaktivno zračenje.



Slika 1

Radioaktivno zračenje je karakteristika jezgra atoma (nukleusa) te otud i naziv nuklearno zračenje.

Utvrđeno je da jezgra mogu emitovati tri vrste zračenja, koja su u početku njihovog proučavanja zbog načina njihovog ponašanja u elektromagnetskom polju (Slika 1) nazvana ALFA(α), BETA(β) i GAMA (γ). Ti nazivi su zadržani i do danas. Višegodišnja istraživanja velikog broja fizičara i hemičara rezultirala su saznanjem da su (α) zraci jezgra atoma helijuma, (β) zraci elektroni, a (γ) gama zraci elektromagnetski talasi vrlo male talasne dužine. To znači da su (α) i (β) zraci u stvari čestice, a ne elektromagnetski zraci, te bi bilo pravilnije da se nazivaju (α) i (β) čestice (D. Ivanović,1981.). Iz elementarne fizike poznato je da je jezgro helijuma sastavljeno od dva protona i dva neutrona te je masa (α) čestica oko 8000 puta veća od mase (β) čestica, a naelektrisana je pozitivno (2+), odnosno alfa čestice nose u sebi dva elementarna naelektrisanja (e+). Jednom alfa emisijom radioaktivan element smanjuje svoju masu (A) za (4), a redni broj (Z) za (2) prema formuli:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{A-4}_{Z-2}X \quad \text{.....(1)}$$

Utvrđeno je da se (β) zraci sastoje od elektrona. Međutim, okolnosti pod kojima se javlja (β) zračenje i njihove osobine skopčane su sa mnogo složenih faktora, čije je ispitivanje obično kompleksno .

Raznim eksperimentima utvrđeno je da (β) zračenje potiče iz jezgra atoma. Dugo je bilo nepoznato kako nastaju (β) čestice u jezgru koje ih, inače, ne sadrži. Tek u poslednje vreme sa većom sigurnošću utvrđeno je da (β) čestice nastaju konverzijom neutrona u proton i elektron po formuli:

$$_{0}n^{1} \rightarrow {}_{1}p^{1} + {}_{-1}e^{0} \quad \text{.....(2)}$$

Pri ovoj transformaciji redni broj jezgra (Z) povećava se za jedan, odnosno na (Z+1) po formuli:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{-1}e^{0} + {}^{A}_{Z+1}X \quad \text{.....(3)}$$

U početnoj fazi ispitivanja radioaktivnih supstancija proučavani su "prirodno" radioaktivni elementi koji su po svojoj prirodi radioaktivni. Tek 1934. godine FREDERIK ŽOLIO i IRENA KIRI ostvarili su veštačku radioaktivnost.

1.1. Alfa zračenje

Kao što je ranije navedeno alfa zraci su korpuskularne prirode i predstavljaju jezgra atoma helijuma, odnosno jonizovanog atoma helijuma sa dvostrukim pozitivnim naelektrisanjem. To znači da su alfa čestice pozitivno naelektrisane i da na sebi nose dva elementarna naelektrisanja (e). Zbog ovog naelektisanja (α) zraci skreću u električnom i magnetnom polju, odnosno slede zakone kretanja naelektrisanih čestica u električnom i magnetnom polju.

Prilikom radioaktivne transformacije jezgra (α) čestice izleću velikom brzinom čiji je red veličine 10^7 m/s, što znači oko jedne šestine brzine svetlosti (c). Prilikom svog kretanja vrše intenzivnu

jonizaciju pri čemu se obrazuje veliki broj jona zbog čega se njihova početna energija brzo troši te je njihova prodornost veoma mala. Tako, naprimer, **list metala debljine 0.1mm ili sloj vazduha od nekoliko santimetara skoro potpuno apsorbuje α zračenje.**

Alfa zraci se mogu detektovati i ispitivati na više načina. Detekcija i merenje radioaktivnog alfa zračenja može se vršiti brojačima, proporcionalnim brojačima, jonizacionim komorama, maglenim komorama i nuklearnim emulzijama (D.Ivanović,1981.)

Zbog male prodornosti i dometa (α) čestica ne postoji mogućnost njihovog registrovanja iz vazduha sa velikih visina (do 100m) zbog čega nisu od interesa za dalja proučavanja u okviru ovog rada.

1.2. Beta zračenje

Već u prvoj fazi razvoja nuklearne fizike, odnosno ubrzo posle otkrića radioaktivnosti, bilo je ustanovljeno da se (β) beta zraci sastoje od negativno naelektrisanih elektrona koji skreću u električnom polju.

Priroda (β) čestica bila je relativno lako i sigurno ustanovljena. Njihova analiza, međutim, do danas je veoma složena i teška. Raznim eksperimentalnim ispitivanjima i analizama moglo se ustanoviti da (β) zraci potiču iz jezgra atoma. Međutim postavilo se pitanje kako nastaju (β) čestice u jezgru koje ih inače ne sadrži. Tek je u poslednje vreme sa većom sigurnošću utvrđeno da (β) čestice nastaju konverzijom neutrona u proton i elektron prema relaciji :

$$ {}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{A}_{z+1}X + \bar{e} + \bar{\nu} \quad i \quad {}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{A}_{z-1}X + e^{+} + \bar{\nu} \qquad .....(4) $$

Pošto pri ovakvoj transformaciji elektron izleće iz jezgra kao (β) čestica, transformacija jezgra se vrši tako da jedan neutron prelazi u proton. Pri tome se redni broj (Z) jezgra povećava za jedan, odnosno (Z+1). Prema zakonu o održavanju energije ovaj proces je moguć samo ako novonastalo jezgro ima manju masu od prvobitnog, odnosno Mz manje od Mz+1.

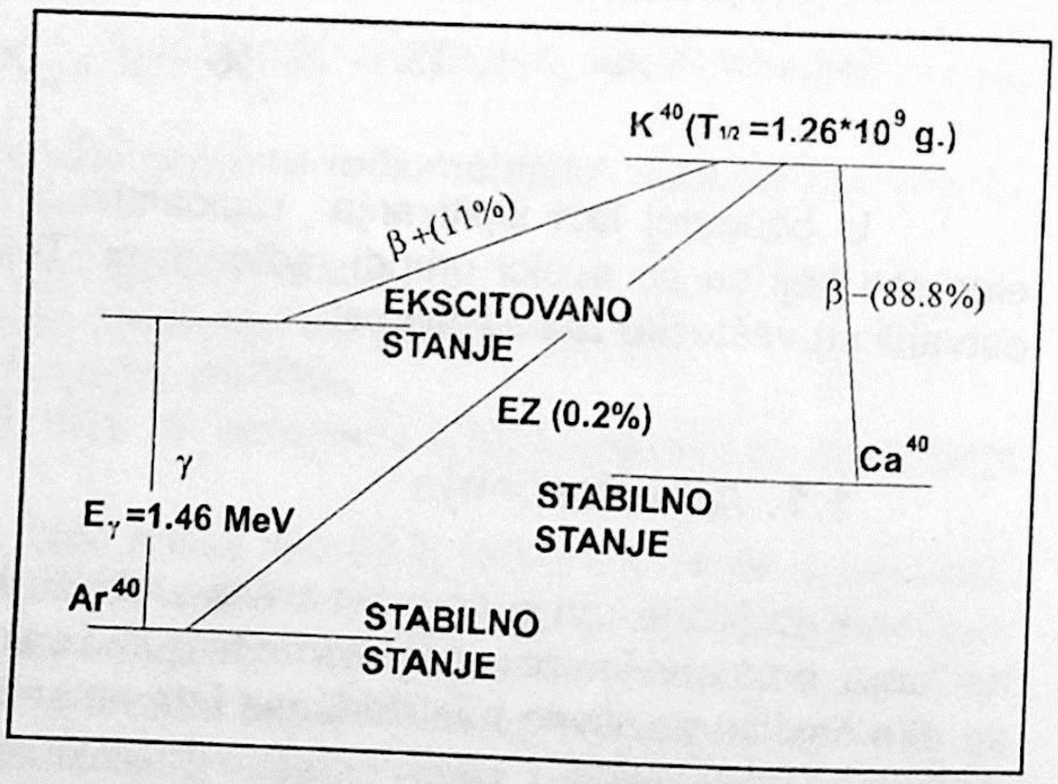
Beta čestice se karakterišu velikim brzinama kretanja, pri radioaktivnom raspadu, koje se približavaju brzini svetlosti pri čemu zahvaljujući maloj masi jonizuju gasove u mnogo manjoj meri od alfa čestica. Zbog te osobine i male mase domet (β) čestica je znatno veći, od onog koji imaju alfa čestice i iznosi i nekoliko metara u vazduhu, dok u čvrstim telima može iznositi i nekoliko santimetara.

Utvrđeno je da postoje tri tipa beta raspada: beta minus (β^-), pozitronski raspad ili beta plus (β^+) i elektronski zahvat (EZ) kao što je prikazano na slici 2.

1.2.1 K-Zahvat

Među raznim vrstama transformacija jezgara ustanovljeni su i procesi koji se mogu smatrati suprotnim od (β) emisije. Ovaj proces se sastoji u tome, što jezgro "uhvati" jedan elektron iz spoljašnjeg elektronskog omotača atoma. Ovakvom zahvatu je, razumljivo, izložen elektronski sloj koji je najbliži jezgru, a to je K - sloj, pa otuda i naziv K - zahvat.

K - zahvat se ne može lako pratiti jer ne postoji način za njegovu direktnu detekciju. On se jedino može ceniti po sekundarnom procesu-emisiji jednog kvanta (X)-zraka. Naime, kad jedan elektron iz K-sloja bude uvučen u jezgro njegovo mesto popunjava jedan elektron iz spoljnih slojeva što je uslovljeno emisijom (X)-zraka. Na osnovi ove emisije utvrđeno je postojanje K-zahvata.



Slika 2

Ulazak elektrona u jezgro izaziva njegovu transformaciju, pri čemu jedan proton u jezgru prelazi u neutron. Time se redni broj jezgra u periodnom sistemu smanjuje za jedan. Pored toga, javlja se energetsko preuređenje jezgra odnosno menja se energija veza u jezgru. Na slici 2 prikazana je šema raspada izotopa KALIJUMA-40. Jezgro prirodno radioaktivnog izotopa kalijuma K-40 može da vrši sva tri tipa beta raspada. Procenti u zagradama na slici 2 označavaju verovatnoću da se raspad ostvari određenim kanalom. Od ukupnog broja raspada za određeno vreme 11% će se ostvariti (β^+) raspadom i sukcesivnom emisijom gama zraka energije 1.46 MeV, 0,2% elektronskim zahvatom i 88,8% (β^-) raspadom. Prvi i drugi raspada prevode **K-40** u izotop **Ar-40**, a treći u **Ca-40** tako da će se od ukupnog broja raspadnutih atoma K-40 dobiti 11.2% atoma Ar-40 i 88,8% atoma Ca-40. U (β) raspadu dobijaju se dve čestice po raspadu, pozitron i gama zrak od 1.46MeV. Umesto pozitrona mogu se dobiti i dva gama zraka anihilacionog zračenja od po **511 KeV**.

Pri beta minus raspadu dobija se jedan elektron po raspadu. Kalijum-40 je, dakle, izvor pozitrona, elektrona, gama zračenja od 511 KeV i 1,46 MeV i (X)-zračenja (Draganić, 1990.)

1.3. Gama raspad

Dok su (α) i (β) zraci korpuskularne prirode (γ) zraci imaju prirodu elektromagnetskih talasa i ne skreću pod dejstvom magnetnog polja. Po svojoj prirodi i osobinama (γ) zraci se ne razlikuju od (X) zraka.

Kvanti (γ) zraka imaju obično velike energije, odnosno velike frekvencije pa spadaju u domen zraka sa veoma malim talasnim dužinama (10^{-8} do 10^{-10} Å). Prema tome, (γ) zraci spadaju u veoma PRODORNO zračenje, koje prolazi i kroz nekoliko desetina santimetara teških metala. Krećući se kroz vazduh (γ) zraci mogu da prođu vrlo velika rastojanja (i do nekoliko stotina metara) a da ne budu apsorbovani (Ivanović D.,1981.).

Emisija (γ) zraka obično ide paralelno sa emisijom (α) i (β) zraka. Smatra se da emisija (γ) zraka potiče od jezgra koje nastaje pri dezintegraciji kao produkt. Usled emisije (α) i (β) čestice vrši se energetsko preuređenje jezgra, pa novonastalo jezgro ostaje u ekscitovanom (pobuđenom) stanju i prelazeći u osnovno energetsko stanje emituje (γ) zrak. Energije gama zraka prirodno radioaktivnih izotopa kreću se od (0-3000 KeV). Ekscitacija jezgra može da bude rezultat radioaktivnog raspada ili nuklearne reakcije. Radioaktivna jezgra koja emituju (γ) zračenje nazivaju se (α,γ) emiteri, odnosno (β,γ) emiteri. Jezgra čiji raspad nije praćen (γ) zračenjem nazivaju se čisti (α) odnosno čisti (β) emiteri.

Gama zračenje kao i svako drugo elektromagnetsko talasanje prostire se brzinom svetlosti ($C=3*10^{10}$ cm/s). Ono pored talasnih osobina ima i vrlo izražena korpuskularna (čestična) svojstva. Impuls gama fotona dat je relacijom (5)

$$p = h * V/C = E/C \quad .....(5)$$

Energije (γ) zračenja kao i svakog drugog elektromagnetskog zračenja date su proizvodom frekvencije (V) i Plankove konstante (h).

Spektar energija (γ) zračenja je uvek linijski diskontinuiran tj. (γ) energije su međusobno oštro izdvojene. **Mnoga radioaktivna jezgra emituju samo jednu ili nekoliko intenzivnih (γ) linija koje karakterišu dati izotop**.

U prirodi postoje tri osnovna elementa koji su za razvoj glavne teze ovog rada od najvećeg značaja. Ti elementi su **kalijum-40** , **uran-238** i **torijum-232.**

2.0. JEDINICE RADIOAKTIVNOSTI

Jedinica za aktivnost radioaktivnog izvora u SI sistemu je BEKEREL. Označava se sa (Bq). Bekerel je aktivnost radioaktivnog izvora u kojem se dešava jedna dezintegracija radioaktivnog jezgra atoma u jednoj sekundi.

$$1Bq = 1/1s = s^{-1} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

U ranijim sistemima upotreblavale su se dve jedinice najpre KIRI (Ci) kasnije RADERFORD (Rd).

$$1Ci = 3,7 * 10^{-10} \text{ dezintegracija/sekunda}; \quad 1Ci = 3,7 * 10^{-10} Bq \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Ova jedinica je odgovarala broju dezintegracija jednog grama RADIJUMA u jednoj sekundi.

$$1Rd=10^{6} \text{ dezintegracija/sekund}=10^{6}Bq \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

Umesto izraza dezintegracija mogu se upotrebljavati izrazi raspad ili raspadanje, pa prema tome radioaktivni izvor ima radioaktivnost od (**1Bq**) ako se u njemu dešava jedan atomski raspad u sekundi.

U spektrometriji gama zračenja za označavanje energije svakog gama zraka koristi se jedinica **ELEKTRONVOLT** (eV).

Elektronvolt je jedinica za rad i energiju koja se isključivo koristi u atomskoj i nuklearnoj fizici. Elektronvolt je jednak radu koji elektron vrši pri prolazu kroz električno polje čiji je napon (1V). Može se definisati kao energija koju elektron stiče pri ubrzanom kretanju kroz električno polje pod naponom od (1V).

U Atomskoj fizici češće se koristi elektronvolt za energiju jonizacije, ekscitacije i sl.

U Nuklearnoj fizici više se koriste njegovi multipli: **KILOELEKTRONVOLT (1KeV), MEGAELEKTRONVOLT (1MeV) i GIGAELEKTRONVOLT (1GeV).**

Gamaspektrometrija kao jedna od mernih metoda Nuklearne fizike koristi elektronvolt kao osnovnu jedinicu, a u praksi pri merenju "prirodnog" gama zračenja kiloelektronvolt (KeV) i megaelektronvolt (MeV)

2.1. Definicija jedinica SI sistema u metrologiji jonizujućeg zračenja

U oblasti merenja jonizujućeg zračenja sve jedinice su izvedene iz SI sistema:

- **apsorbovana doza jonizujućeg zračenja:** jedinica za apsorbovanu dozu jonizujućeg zračenja je GREJ, oznaka(Gy). Grej je apsorbovana doza jonizujućeg zračenja u telu čija je masa 1kg, kojem je unesena zračenjem i stalnom gustinom fluksa energija od 1 džula.

$$1Gy = 1J/1kg \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

- **ekspoziciona doza jonizujućeg zračenja:** jedinica za ekspozicionu dozu jonizujućeg zračenja je Kulon po kilogramu(C/kg)

To je ekspoziciona doza jonizujućeg zračenja koje u količini vazduha mase (1kg) stvara jone istog znaka ukupnog naelektrisanja od 1 Kulona ako je gustina energetskog fluksa ista u celoj količini ozračenog vazduha.

$$1C/kg = 1C/1kg \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

- **ekvivalentna doza jonizujućeg zračenja:** ima jedinicu Sivert sa oznakom (Sv). Definisana je relacijom :

$$H = D \times Q \times N \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

gde su (D) apsorbovana doza jonizujućeg zračenja definisana u Grejima, (Q) faktor kvaliteta, a (N) bilo koji modifikujući faktor koji zavisi od uslova ozračivanja. Pri spoljašnjem ozračivanju (X) i (gama) zračenjem taj faktor je jedinica.

Kad se sve jedinice vremena iskazuju u jedinicama vremena ove jedinice dobijaju prefiks "jačina" kao što je prikazano na TABELI I.

TABELA I

VELIČINE I JEDINICE U OBLASTI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

FIZIČKA VELIČINA	OZNAKA	U SI SISTEMU			PRETVARANJE U SI SISTEM
		JEDINICA	OZNAKA	DIMENZIJA	
AKTIVNOST	A	BEKEREL	Bq		$1Ci=3.7*10^{-10}Bq$
EKSPOZICIONA DOZA	X		$C*kg^{-1}$	$C*kg^{-1}$	$1R=2.58*10^{-4}$ (Ckg^{-1})
JAČ. EKSP. DOZE	X		$C/kg*s$	$C*kg^{-1}*s^{-1}$	$1R/s=2.58*10^{-4}$ $(C\ kg^{-1}s^{-1})$
APSORBOVANA DOZA	D	GREJ	Gy	$J*kg^{-1}$	$1rd=1.10^{-2}$ (Gy)
JAČINA APSORB. DOZE	D		Gys^{-1}	Gys^{-1} W/kg	$1rd/s=1.10^{-2}$ (Gy/s)
EKVIVALENTNA DOZA ZRAČ.	H	SIVERT	Sv	Jkg^{-1}	$1rem=1.10^{-2}$ (Sv)
JAČINA EKVIV. DOZE	H		Svs^{-1}	$Jkg^{-1}s^{-1}$	$1rem/s=1.10^{-2}$ (Sv/s)

(Po Đ.Bek Uzarovu,1987.)

3.0. ZAKON RADIOAKTIVNOG RASPADA

Rano je uočeno da se neke radioaktivne supstancije raspadaju (dezintegrišu) više nego druge. Razlike su ogromne, te je zbog toga vrlo važno uzeti u obzir veliku opštu pravilnost procesa i pojava. Polazi se, kao najpovoljnije, od broja atoma radioaktivne supstancije.

Označimo sa (No) broj atoma radioaktivne materije u početku posmatranja, odnosno u početku računanja vremena. Dakle za (t=0) uzimamo da je broj atoma radioaktivne materije jednak (No). Označimo, zatim, sa (N) broj atoma koji su posle vremena (t) ostali neraspadnuti, odnosno onaj broj atoma koji nisu pretrpeli dezintegraciju. Prema tome dezintegrisano je (No-N) atoma. Ukoliko je veći broj nedezintegrisanih atoma utoliko će biti veći i broj dezintegracija u određenom vremenskom intervalu. Ovo se može tvrditi zbog toga što se za pojam radioaktivnog zračenja uzimaju statističke zakonitosti koje se manifestuju u proprcionalnosti broja dezintegracija sa brojem nedezintegrisanih atoma. Uzmimo da se u vremenskom intervalu (dt) dezintegriše (dN) atoma neke materije.Tada je taj broj proprcionalan broju (N) nedezintegrisanih atoma i vremenskom intervalu (dt). Kako se procesom dezintegrisanja broj (N) smanjuje može se pisati :

$$dN \sim -Ndt \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

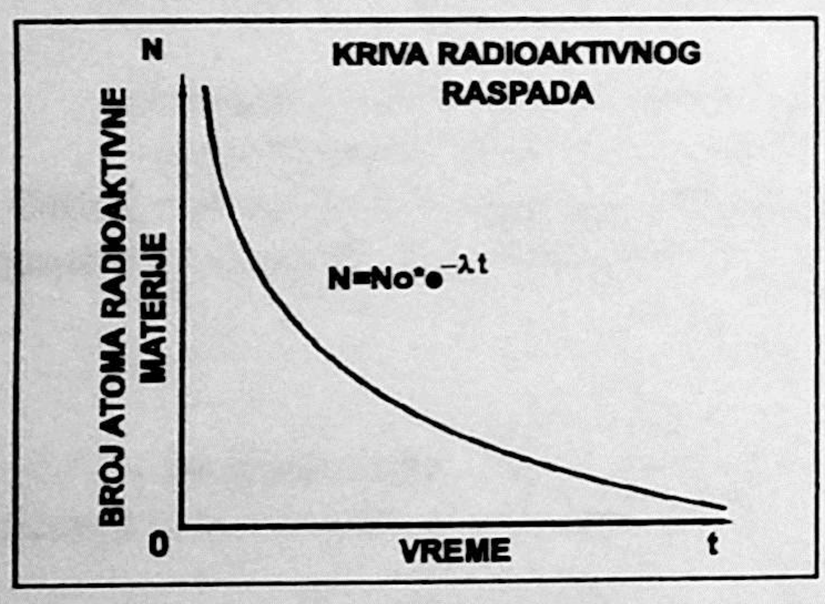
gde je sa (~) označena proprcionalnost. Znak (-) uzet je zbog opadanja broja (N) kad vreme (t) raste. Ako se sa (λ) označi koeficijent proporcionalnosti, onda će zakon radioaktivnog raspada glasiti:

$$dN = -\lambda Ndt \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

Veličina (λ) naziva se radioaktivna konstanta, konstanta radioaktivnog raspadanja, konstanta raspadanja ili dezintegraciona konstanta. Pošto je dimenzija veličine (λ) recipročna vrednost vremena prikazuje se u (s^{-1}). Jednačina (13) integrira se razdvajanjem promenljivih, odnosno deljenjem sa (N).

Pretpostavka je da je konstanta (λ) prava konstanta i da ne zavisi ni od vremana ni od broja (N). Dobija se definitivno rešenje:

$$N = No\, e^{-\lambda t} \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$



Slika 3

Jednačina (14) predstavlja zakon po kojem se definitivno raspadaju svi atomi, posle beskonačno dugog vremena. Konstanta (λ) je različita za različite elemente. Ona je efikasna mera radioaktivnosti.Prema njoj može se odrediti i brzina raspadanja, odnosno, koji se deo prvobitnog broja atoma dezintegrisao za određen vremenski interval (slika 3).

Zbog prirode i dimenzije veličine (λ) češće se kao karakteristika uzima određeno i specijalno definisano vreme -tzv. **PERIOD POLURASPADA**.

3.1. Period poluraspadanja

Kao jedno od glavnih karakteristika radioaktivnog zračenja uzima se vreme u toku kojeg se dezintegriše polovina prvobitnog broja atoma nekog radioaktivnog elementa. Taj vremenski interval naziva se period poluraspada, vreme poluraspada, "poluživot" ili "polovina života" (Ivanović D.,

INSTITUT - BIBLIOTEKA GEOIN BEOGRAD

1981.). Prema prirodi i definiciji te veličine vidi se da to nije poluvreme jer to nije polovina vremena, niti pak polovina života. Period poluraspada označićemo sa ($T_{1/2}$).

Kad je poznata veza između (λ) i ($T_{1/2}$), može se osnovni zakon radioaktivnog raspada izraziti u obliku:

$$N = No^* 2^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad \text{..... (15)}$$

gde je (t) vremenski interval posle kojeg je ostalo (N) nedezintegrisanih atoma od prvobitnih (N_o) u početku računanja tog vremena. Ukoliko se neka radioaktivna supstancija brže raspada, to se u kraćem vremenskom intervalu raspadne polovina njenih prvobitno prisutnih atoma, znači da takva supstancija ima kraće vreme poluraspada. Za različite radioaktivne supstancije vreme poluraspada ima vrednosti u veoma velikom intervalu, od bilionitih delova sekunde pa do više milijardi godina. Na slici 4 prikazan je primer krive relativne aktivnosti jednog radioaktivnog izotopa sa periodom poluraspada $T_{1/2}$=3h, na kojem se može objasniti značaj perioda poluraspada kao jedne od glavnih karakteristika radioaktivnog raspadanja. Ako se period poluraspada nanosi po apcisi a broj neraspadnutih atoma po ordinati, dobija se kriva koja pokazuje da opadanje broja još neraspadnutih atoma nije linearna funkcija vremena.

3.2. Jednačina radioaktivnog niza

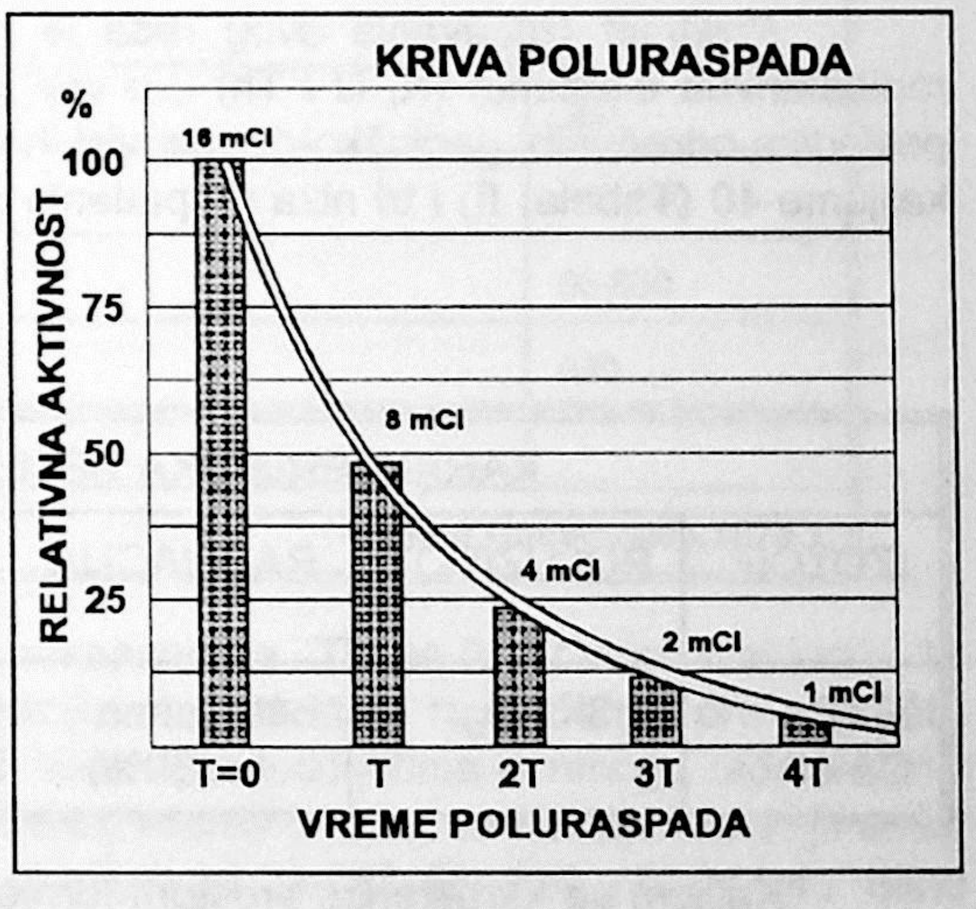
Prilikom radioaktivnog raspadanja često je i produkt tog raspadanja radioaktivan. Ako prvobitan element nazovemo "predak" ili "roditelj" onda ćemo element dobijen dezintegracijom moći nazvati "potomak" ili "kćer". Kako je i drugi element radioaktivan, od njega nastaje, radioaktivnom dezintegracijom, "unuk" itd.

Označimo indeksom (1) atome pretka, indeksom (2) atome prvog potomka, a indeksom (3) atome drugog potomka itd.

Označimo sa (λ_1) konstantu raspadanja prvog elementa pretka a sa (λ_2) konstantu raspadanja drugog elementa.

Neka je (N_o) broj atoma jezgra prve generacije u početku zračenja za (t=0). Posle vremena (t) neka bude $N_1=N_o e^{-\lambda 1}$ atoma prve generacije koji se nisu dezintegrisali. Sa (N_2) označimo broj atoma druge generacije pri čemu će za (t=0) biti:(N_2=0)

Sad već možemo napisati jednačinu koja pokazuje dezintegraciju atoma druge generacije.



Slika 4

$$N_2 = (\lambda_1 * No / \lambda_n - \lambda_1) * (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad \text{..... (16)}$$

Jednačina 16 omogućava da se za svaki vremenski interval odredi broj atoma druge generacije prema prvobitnom broju atoma prve generacije, uz uslov da su poznate konstante (λ1) i (λ2).

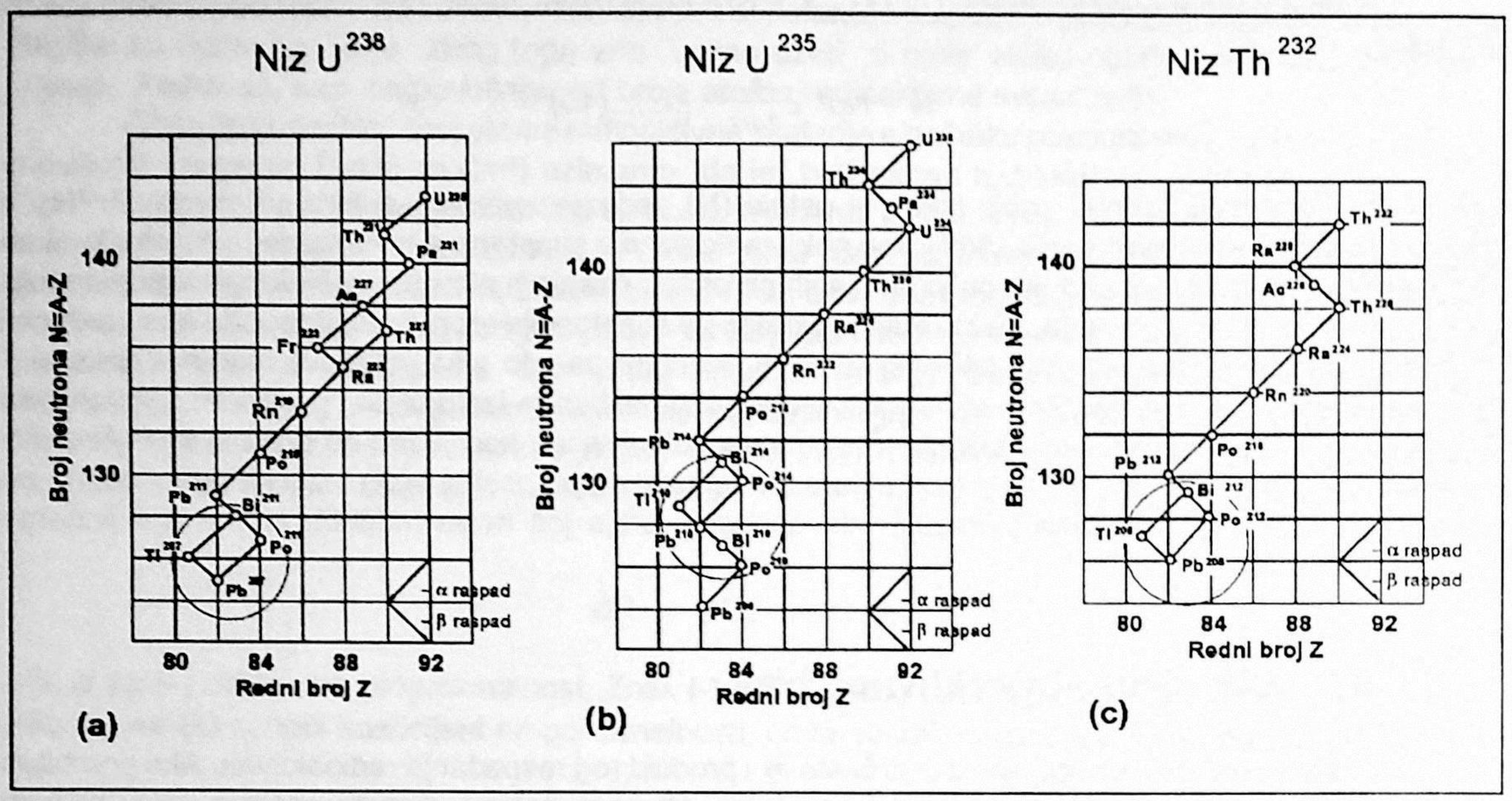
3.3. Radioaktivni nizovi urana-238 urana-235 i torijuma-232

Teški radioaktivni nuklidi čiji je redni broj veći od 83, a koji se nalaze u prirodi mogu se grupisati u tri radioaktivna niza ili porodice. One počinju sa U-235, U-238 i Th-232 (Slika 5).

Posle niza (α) ili (β) raspada ovi elementi se transformišu u stabilne izotope Pb-206, Pb-207 i Pb-208.Po svojim prvim članovima oni se nazivaju i nizovima URANA, AKTINIJUMA i TORIJUMA

U prirodi nailazimo i na neke tragove elemenata koji pripadaju i četvrtom nizu koji bi mogao da nosi ime NEPTUNIJUMOV niz po najduže živećem članu Np-237 čije je vreme poluraspada T=6,94 x 10^{11} s (2,2x10^6 godina). Za razliku od prethodna tri, ovde nema gasovitog proizvoda sa rednim brojem

86 (Rn), a završetak u nizu je stabilan izotop BIZMUT (Bi-209).



Slika 5

Predmet izučavanja ovog rada je metodologija ispitivanja i analiza varijacije sadržaja tri radioaktrivna elementa (K, U i Th) i, u vezi sa tim, otkrivanje anomalija radioaktivnosti nastalih kao posledica određenih, geološko-geohemijskih procesa. Na ovom mestu prikazaćemo šemu raspadanja kalijuma-40 (Tabela II) i tri niza raspadanja prirodno radioaktivnih elemenata (Tabele III, IV i V).

TABELA II

KARAKTERISTIKA ŠEME RASPADANJA KALIJUMA 40				
IZOTOP	POLUŽIVOT	RADIJACIJA	BR.GAMA ZRAKA PO DEZINTEGRACIJI	ENERGIJA GAMA ZRAČENJA (KeV)
K-40 Ca-40	$1.3X10^9$g	beta,gama beta (89%)	0.11	1460.8

Kalijum se karakteriše prostom formom radioaktivnog raspada. Samo jedan od više prirodnih izotopa kalijuma je radioaktivan, a to je K-40. Radioaktivnost kalijuma je konstantna pod svim uslovima. Zbog proste šeme raspada, kalijum se karakteriše samo jednim energetskim pikom (1460 KeV).

Prirodni URAN sastoji se od dva glavna izotopa U-235 i U-238 od kojih se prvi javlja u 99,27% slučajeva i on je jedini od interesa pri geološkim istraživanjima.

TABELA III

GLAVNE KARAKTERISTIKE RADIOAKTIVNOG NIZA URANA-235				
IME IZOTOPA	POLUŽIVOT	RADIJACIJA	BR.GAMA ZRAKA PO DEZINTEGRACIJI	ENERGIJA GAMA ZRAČENJA (KeV)
U-235	$7,1*10^{8}$g	alfa,gama	10	70-380
Th-231	25,60h	beta,gama	preko 10	80-310
Pa-231	$3,4*10^{4}$g	alfa,gama	preko 10	2909-360
Ac-227	21,60g	beta,alfa,gama	9	90-190
Th-227	18,20d	alfa,gama	preko 10	50-330
Fr-223	22,00m	beta,alfa,gama	4	50-310
Ra-223	11,70d	alfa,gama	preko 10	30-450
Rn-219	4,00s	alfa,gama		270-400
At-219	54,00s	alfa,beta		
Po-215	$1,8*10^{-3}$s	alfa,beta		
At-215	$10,00^{-4}$s	alfa		
Bi-215	8,00m	beta		
Bi-211	2,15m	alfa,beta,gama		350
Po-211	0,52s	alfa,gama		560-880
Pb-211	36,00m	beta,gama		65-830
Tl-207	4,80m	beta,gama		890
Pb-207	stabilan			
				(Applied Geophysics,1976.)

Radioaktivni niz U-238 je kompleksan, kako je pokazano na Tabeli IV. On prolazi kroz 14 koraka od kojih je svaki sa karakterističnom dezintegracijom i produktom raspadanja pre nego što dostigne stabilno stanje i krajnji produkt olovo-206. Uran sa svojim produktima je mnogo radioaktivniji od kalijuma, a specifična aktivnost U-238 je 12,23 Bq totalnog urana. U svakom slučaju važno je uočiti da glavna (γ) radijacija potiče od Bi-214 i Pb-214 a ne direktno od U-238. Pb-214 i Bi-214 su osmi i deveti produkt raspadanja. Kumulativni poluživot produkata do njihovog formiranja je približno 330.000 godina.

Potrebno je naglasiti da je jedan od koraka u procesu raspadanja radioaktivnog niza U-238, koji prethodi stvaranju Pb-214 i Bi-214, gas RADON (Rn-222) i da je (8) dezintegracija ovog niza praćeno (α) emisijom.

TABELA IV

GLAVNE KARAKTERISTIKE RADIOAKTIVNOG NIZA U-238				
IME IZOTOPA	POLUŽIVOT	GLAVNA RADIJACIJA	BROJ GAMA ZRAKA PO DEZINTEGRACIJI	GLAVNI ENERGETSKI GAMA PIKOVI (KeV)
U -238	$4,51*10^9$g	alfa,gama		480
Th -234	24,1d	beta,gama	0,08	30-90
Pa-234	6,7h	beta,gama		44-1850
U -234	$2,48*10^5$g	alfa,gama		53,118
Th-230	$8*10^4$g	alfa,gama		68-250
Ra-226	$1,60*10^3$g	alfa,gama	0,04	19-64
Rn-222	3,82d	alfa,gama		510
Po-218	3,05m	alfa,beta		
Pb-214	26,80m	beta,gama	0,60	290; 350
Bi-214	19,80	beta,gama	13,00	450-2430
Po-214	$1,6*10^{-4}$s	alfa		
Pb-210	21,30g	beta,gama	0,04	47
Bi-210	5,01d	beta,gama		790
Po-210	138,40d	alfa		
Pb-206	stabilan			
(R.E.Sheriff, Applied Geophysics, 1976.)				

Torijum (Th-232) je glavni izotop prirodnog torijuma i, kao U-238, ima kompleksan niz radioaktivnog raspada pre nego što dostigne stabilno olovo (Pb-208) (TABELA V).

Najjači gama emiter torijumovog radioaktivnog niza je deveti produkt Tl-208. Kumulativni poluživot do trenutka njegovog nastanka je približno 8 godina. Specifična aktivnost Th-232 je 4,1 Bq/mg totalnog torijuma.

Uobičajeno je da se radionuklidi, kojima počinju tri radioaktivna niza u prirodi, nazivaju i primarni prirodni radioaktivni elementi. Njihovo poreklo je u eksplozijama SUPER NOVE i stari su koliko i naša Galaksija, ili bar koliko Sunčev sistem. Vreme polu raspada im je dovoljno dugo u poređenju sa životima ovih kosmičkih tela pa ih nalazimo i danas na Zemlji.

TABELA V

GLAVNE KARAKTERISTIKE RADIOAKTIVNOG NIZA Th-232				
IME IZOTOPA	POLUŽIVOT	GLAVNA RADIJACIJA	BROJ GAMA ZRAKA PO DEZINTEGRACIJI	GLAVNI ENERGETSKI PIKOVI (KeV)
Th-232	$1,39*10^{10}$g	alfa,gama		59
Ra-228	5,75g	beta,gama		30
Ac-228	6,13h	beta,gama	0,68	60-960
Th-228	1,91a	alfa,gama	0,02	85-214
Ra-224	3,64d	alfa,gama	0,04	24;29
Rn-220	55,30s	alfa,gama		540
Po-216	0,15s	alfa		
Pb-212	10,64h	beta,gama	0,52	110-410
Bi-212	60,60m	alfa,beta,gama	0,12	40-2200
Po-212	$3,00*10^{-7}$s	alfa		
Tl-208	3,10m	beta,gama	2,30	280-2620
Pb-208	stabilan			
R.E.Sheriff, Apllied geophysics, 1976.				

4.0. RADIOAKTIVNA RAVNOTEŽA

Radioaktivna ravnoteža je jedan od najznačajnijih faktora u svim gama spektrometrijskim ispitivanjima.

Spektrometrija gama zračenja može biti korišćena za određivanje koncentracije urana, torijuma i kalijuma u stenama zahvaljujući tome što je gama zračenje specifične energije prateća pojava svakog radio elementa. Proučavanjem pikova emitovanog energetskog spektra gama zračenja moguće je odrediti, matematičkim metodama, sadržaj radioaktivnih elemenata u tlu. Metoda određivaja sadržaja radioaktivnih elemenata uključuje registrovanje broja gama zraka koji su emitovani od strane stene čiji sadržaj radioaktivnih elemenata određujemo. Najpogodnije je registrovanje devetog produkta raspadanja niza U-238 (Bi-214), zatim Tl-208 produkta niza Th-232 i produkt raspadanja kalijuma-40.

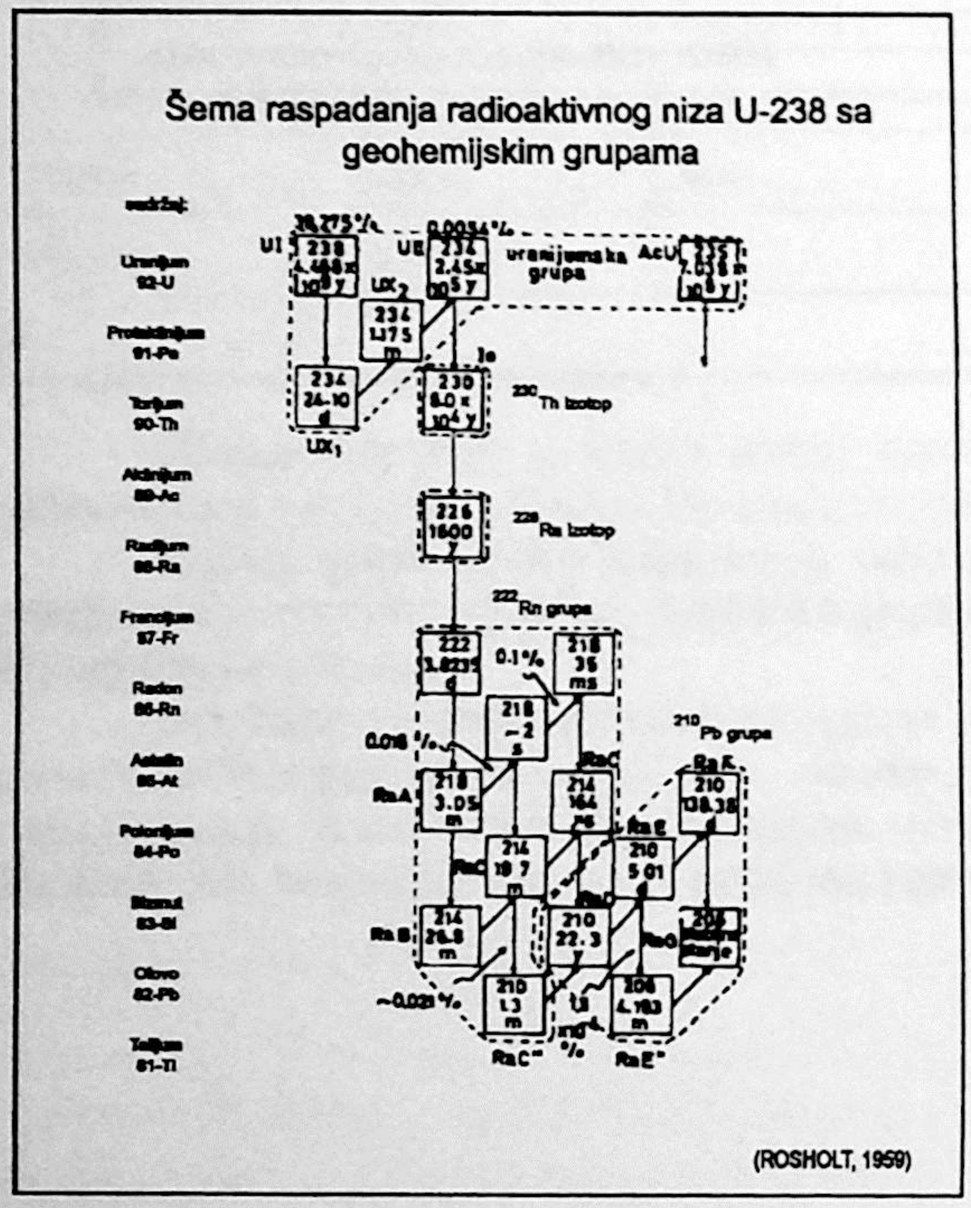
Iz broja registrovanih gama zraka moguće je izračunati sadržaj radioaktivnih elemenata samo u slučaju kada postoji direktna veza između količine potomaka i količine predaka u radioaktivnim nizovima (Killen P.G.,1979.).

Ova pretpostavka važi samo u slučaju kad je radioaktivni niz u stanju **SEKULARNE RADIOAKTIVNE RAVNOTEŽE.**

Radioaktivni nizovi su u stanju sekularne radioaktivne ravnoteže kad je broj atoma svakog potomka, koji je proizveden u toku raspada, jednak broju atoma koji je izgubljen u procesu radioaktivnog raspada.

Faktor gubitka nastalog u procesu radioaktivnog raspada je proporcionalan sumi radioaktivnih elemenata.

U procesu radioaktivnog raspada u jednom radioaktivnom nizu element (N_1) raspada se u element (N_2) po odnosu sa konstantom (λ_2) dok se u isto vreme (N_2) raspada sa konstantom (λ_3) u elemenat (N_3) itd.



Slika 6

Ako predak ima relativno dug period poluživota, posle dugog perioda vremena suma bilo kojeg produkta postaje konstantna. Odnos produkata i njihovih predaka jednak je, odnosu njihovog raspada. Niz je tada u stanju sekularne radioaktivne ravnoteže.

Sekularna ravnoteža se izračunava iz formule radioaktivnog niza na sledeći način:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \ldots\ldots = \lambda_n N_n \ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

Kada su ovi uslovi postignuti moguće je odrediti sumu predaka radioaktivnog niza merenjem radioaktivnosti bilo kojeg produkta radioaktivnog raspada.

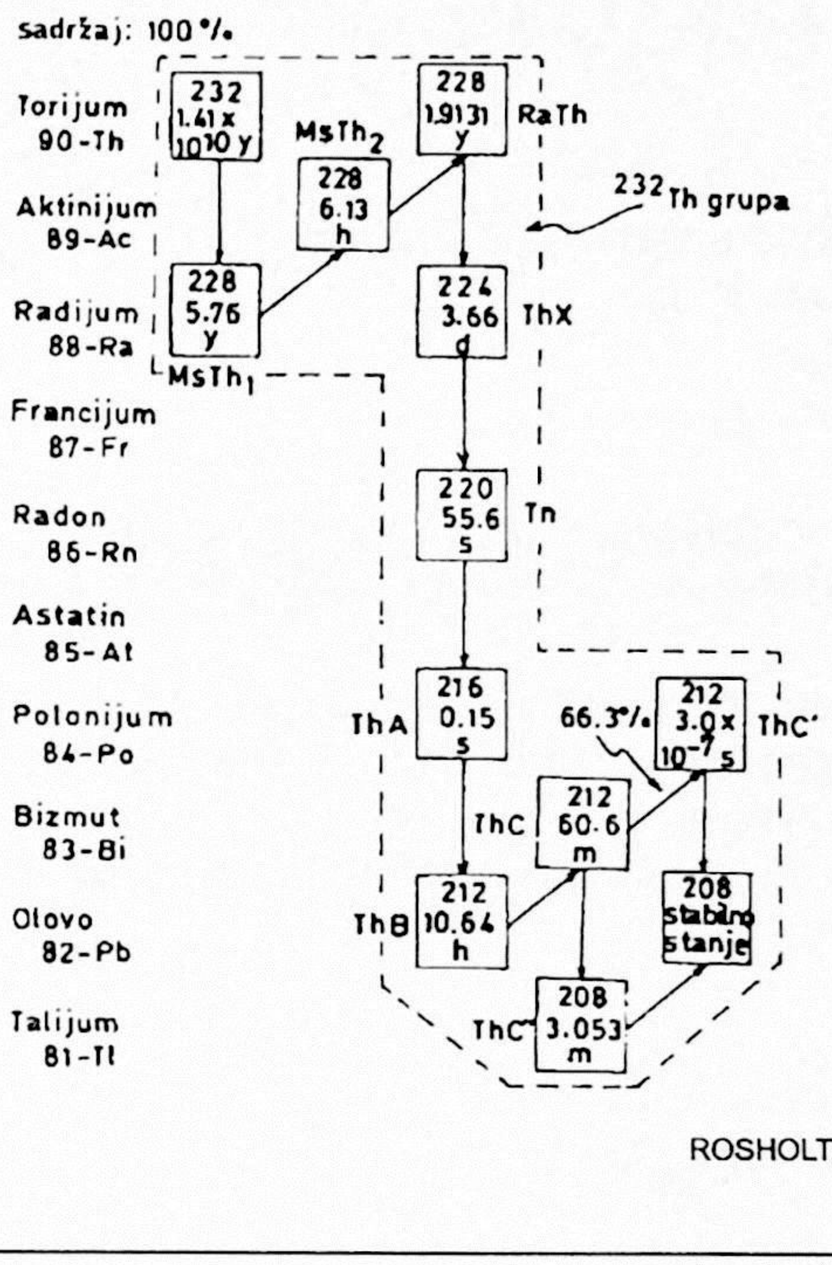
Osnovno pitanje u tom slučaju je: da li stanje sekularne ravnoteže, koje je neophodno pri analizi gama zračenja tehnikom spektrometrije, odgovara geološkom materijalu čiji sadržaj analiziramo? Ako jedan ili više potomaka budu izgubljeni, u bilo kojem procesu u prirodi, ili ako predak nije stvaran dovoljno dugo jednačina (17) ne može biti zadovoljena i ne možemo odrediti tačan sadržaj radioaktivnih elemenata u stenama. Svaki potomak radioaktivnog raspada je element sa svojim fizičkim i hemijskim osobinama i karakteristikama. On se može ponašati različito unutar date radioaktivne ravnoteže. Na primer, rastvorljivost radijuma, urana i torijuma je različita, a takođe je i različito izluživanje tih elemeneta.

Jedan od najkompletnijih radova o ovom pitanju dao je ROSHOLT (1959), koji je podelio radioaktivni niz urana-238 u pet odvojenih grupa kako je prikazano na slici 6. Elementi svake grupe teže da ostanu u stanju ravnoteže sa glavnim pretkom date grupe iako predak te grupe ne mora biti

u stanju radioaktivne ravnoteže sa svojim pretkom u radioaktivnom nizu. Sam po sebi U-238 nije emiter (γ) zračenja pa zbog toga i ne može biti registrovan direktno. Zbog toga se koristi jedan od pikova visoke energije koji emituje član uranskog radioaktivnog niza Bi-214 - (1760KeV).

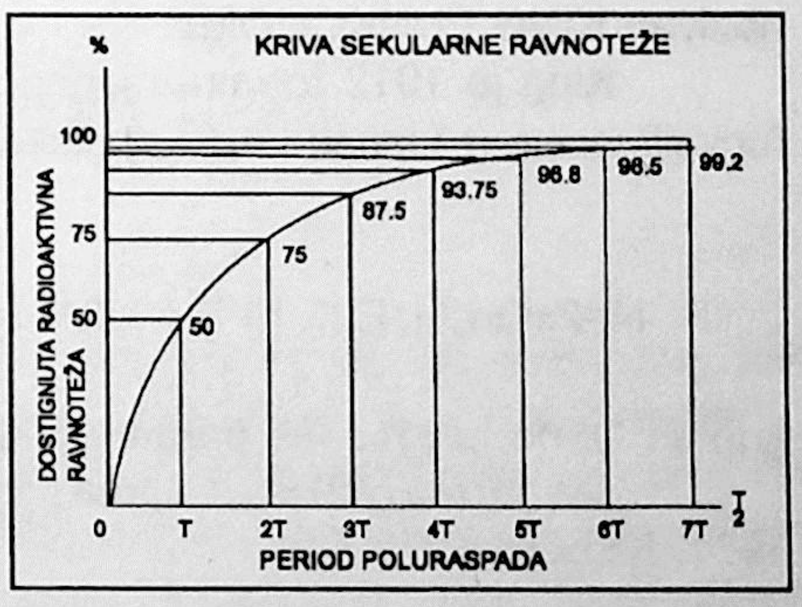
Za niz radioaktivnog raspada TORIJUMA generalno možemo prihvatiti da je već u stanju sekularne radioaktivne ravnoteže zbog toga što član sa najdužim poluživotom, RADIJUM-228, ima poluživot od 6,7 godina. Sedam perioda poluživota iznosi ukupno oko 50 godina, što je geološki tren i bilo kakva redistribucija torijuma bila bi praćena sa relativno brzim uspostavljanjem radioaktivne ravnoteže. U praksi za sve geološke sredine količina Th-232 može biti računata merenjem gama zračenja pika sa energijom 2620 KeV, kojeg emituje član torijumskog niza TALIJUM-208.

U konvencionalnoj spektrometriji gama zračenja mere se energije gama zračenja K-40, Bi-214 i Tl-208, dok se rezultati izražavaju u broju udara gama zraka u detektor, a izražavaju se u impulsima u sekundi (i/s). Međutim, daleko je bolje ako rezultate izrazimo u jedinicama **EKVIVALENTNE KONCENTRACIJE** radioaktivnih elemenata u tlu. Ekvivalentna koncentracija radioaktivnih elemenata označava se prefiksom **"e"** (naprimer **eU, eTh, eTh/eU** itd). Koliko je potrebno za postizanje sekularne ravnoteže? To zavisi od poluživota člana (potomka) radioaktivnog niza sa najdužim periodom poluraspada koji se u radioaktivnom nizu nalazi ispod pretka. Izotopi urana, na primer, dostižu stanje radioaktivne ravnoteže proporcionalno dužini poluživota Th-230, koja je 80 000 godina. Sledeći period poluraspada doprineće postizanju još 1/4 radioaktivne ravnoteže čineći ukupno 75%. Treći period poluraspada doprineće još za 1/8 ukupnoj ravnoteži, što čini 87,5% ukupne ravnoteže (slika 8). Na prikazan način određujemo vreme koje je potrebno za dostizanje stanja sekularne ravnoteže.Sa slike 8 vidi se da se



Slika 7

99,2 % sekularne ravnoteže dostiže posle sedam perioda poluraspadanja (7T). Dakle, posle sedam perioda poluživota radioaktivan niz urana-238 postiže stanje sekularne radioaktivne ravnoteže, a to je period od 560 000 god. U mnogim praktičnim radovima spektrometrija gama zračenja može biti korišćena za određivanje količine U-238 merenjem gama zračenja energije 1,76MeV koju emituje produkt raspadanja njegovog niza (Bi-214) posle približno 300 000 godina što odgovara 4 $T_{1/2}$



Slika 8

5.0. PROMENA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA U FUNKCIJI VISINE

Pri ispitivanju varijacija sadržaja prirodno radioaktivnih elemenata u tlu (K, U i Th), avionom ili helikopterom, nepohodno je poznavati karakteristike i varijacije polja gama radioaktivnosti.

Prvi teoretski rad o varijaciji intenziteta polja prirodne gama radioaktivnosti sa porastom rastojanja sa kojeg se ono registruje uradio je 1911 EVE (Grasty R.L.,1979). On je izračunao intenzitet gama zračenja (n) u funkciji broja proizvedenih jona u jednoj sekundi, u jednom kubnom santimetru vazduha, i pokazao da je:

gde je

$$n = 2\pi n_0 QK/\mu \int_0^1 e^{-\lambda h/x}\, dx \quad \ldots\ldots\ldots (18)$$

Q =srednji sadržaj radijuma u stenama ,
n_o=broj jona proizvedenih u kubnom santimetru vazduha u jednoj sekundi (cm^3/s) na normalnom Pt. i Tm. na rastojanju od 1cm od izvora radijuma aktivnosti 1 Kiri.
λ=linearni koefijent slabljenja gama zračenja u vazduhu.
μ =linearni koeficijent slabljenja gama zračenja u tlu
h =rastojanje od izvora radioaktivnog zračenja.

GOKEL je 1909. (Grasty,1979.) prvi put eksperimentalno izvršio merenja jonizacionih efekata gama zračenja koji potiču sa tla, primenom elektroskopa montiranog u balon. On je tada utvrdio nepravilne varijacije gama zračenja sa visinom.

HES je 1911. i 1912. bio prvi koji je uspeo da dobije definitivne rezultate. On je utvrdio da jonizacija blago opada do visine od 1000 m, a zatim iznad 2000m pa do 5000m raste i dostiže vrednost koja je dva do tri puta veća od one na nivou površine terena.

Promenom notacije u jednačini (18) dolazimo do vrlo često upotrebljavanog izraza:

$$N = N_0 \int_1^\infty e^{-\lambda h/x} / X2 \; dx = N_0 E_2(\lambda h) \quad \ldots\ldots\ldots (19)$$

gde je (N_o) zračenje registrovano gama detektorima na površini terena, a (N) zračenje registrovano na visini (h).Funkcija E_2 (X) je poznata kao eksponencijalni integral druge vrste, u ruskoj literaturi često nazivan KING FUNKCIJOM.

King je 1912 formirao jednačinu (19) i izveo varijacije intenziteta gama radioaktivnosti (N) u funkciji visine (h) iznad kružnog diska debljine (d) koji leži naspram tačke merenja pod uglom od 2π .

$$N=2\pi Qn_o/\mu\{E_2(\lambda h)-E_2(\lambda h+\mu d)-\cos\Phi\ [E_2(\lambda h/\cos\Phi - E_2(\lambda h+\mu d/\cos\Phi)]\} \quad \ldots\ldots\ldots (20)$$

gde su Q, no, μ , h i isti parametri kao i u jednačini (18).

Jednačina (20) je više puta proveravana i poboljšavana, GODBY 1952, DARNLEY 1968, DUVAL 1971, KELOG 1972 itd.

U praksi na osnovi jednačina (18), (19) i (20) relacija između registrovanog gama zračenja (N_o) i visine (H) sa koje se registruje zračenje iznad homogenog terena data je jednačinom:

$$N = N_o * e^{-\mu H} \quad \text{.....(21)}$$

pri čemu su u (21) (N_o) i (μ) konstante (KOGAN 1969 i DARNLEY1969)
μ =parametar korekcije visine i on je proporcionalan gustini vazduha. Za gustinu vazduha od 1,213 mg/sm^3 iznosi od 6,4-7,5x10^{-3}.

Na bazi jednačine (21) formira se formula za zračunavanje faktora korekcije (F).

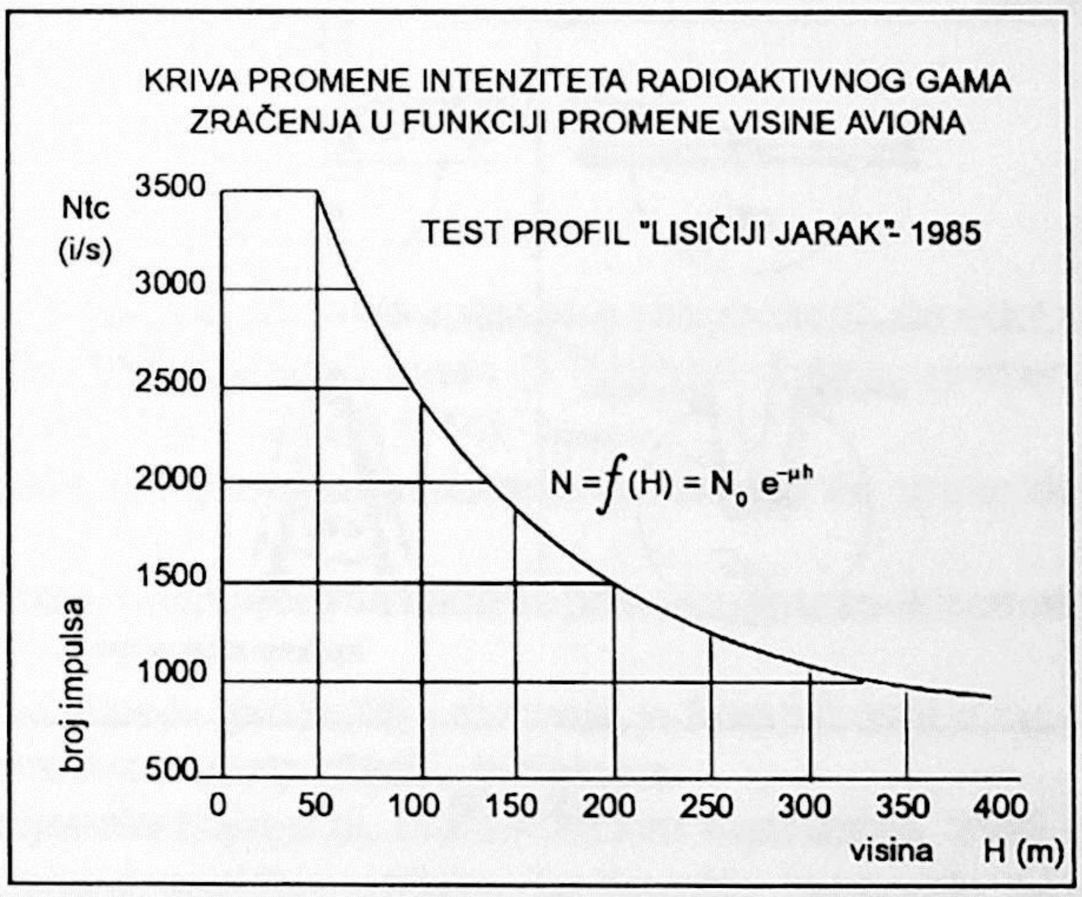
$$F = e^{\mu(H - Ho)} \text{.....(22)}$$

uzima se da (μ) ima vrednost (7x 10^{-3})
H = visina letilice u trenutku merenja intenziteta radioaktivnog gama zračenja (N_o)
H_o= referentni nivo svođenja merenih podataka registrovanih na različitim visinama (Hi)
Najčešće se koristi nivo svođenja 120 m.

Na osnovu prikazanog dobili smo, možda najvažniju formulu u celoj metodi aerogama-spektrometrijskih ispitivanja koja se koristi za svođene podataka, izmerenih na različitim visinama, na isti nivo, odnosno istu visinu:

$$N = N_o * F \text{.....(23)}$$

Na slici 9 prikazana je kriva promene intenziteta ukupnog radioktivnog gama zračenja u funkciji promene visine sa koje je ono registrovano, koja je urađena za test profil "LISIČIJI JARAK" 1985 godine.



Slika 9

Prilikom aerogamaspektrometrijskih ispitivanja formula (23) koristi se za dovođenje svih podataka na isti nivo merenja a to je 120 metara iznad površine ispitivanog terena. Konstanta (μ) eksperimentalno se određuje korišćenjem test profila, merenjem gama radioaktivnosti na različitim visinama, uz poznavanje gustine vazduha u trenutku merenja. Međutim, na različitim terenima u različitim periodima gustina vazduha se menja te bi bilo neophodno više puta, na samom terenu, određivati (μ) što nije praktično. Zbog toga, a prema preporuci Međunarodne Agencije za Atomsku energiju (IAEA) koristimo srednju vrednost konstante (μ) koja iznosi 7, 0 x 10^{-3}.

6.0. GEOMETRIJA MERENJA GAMA ZRAČENJA

Količina radijacije koja može biti registrovana zavisi od veličine, oblika i intenziteta radioaktivnog izvora i veličine i položaja detektora u odnosu na izvor gama zračenja. Sve navedeno može se podvesti pod jedan termin, a to je GEOMETRIJA MERENJA.

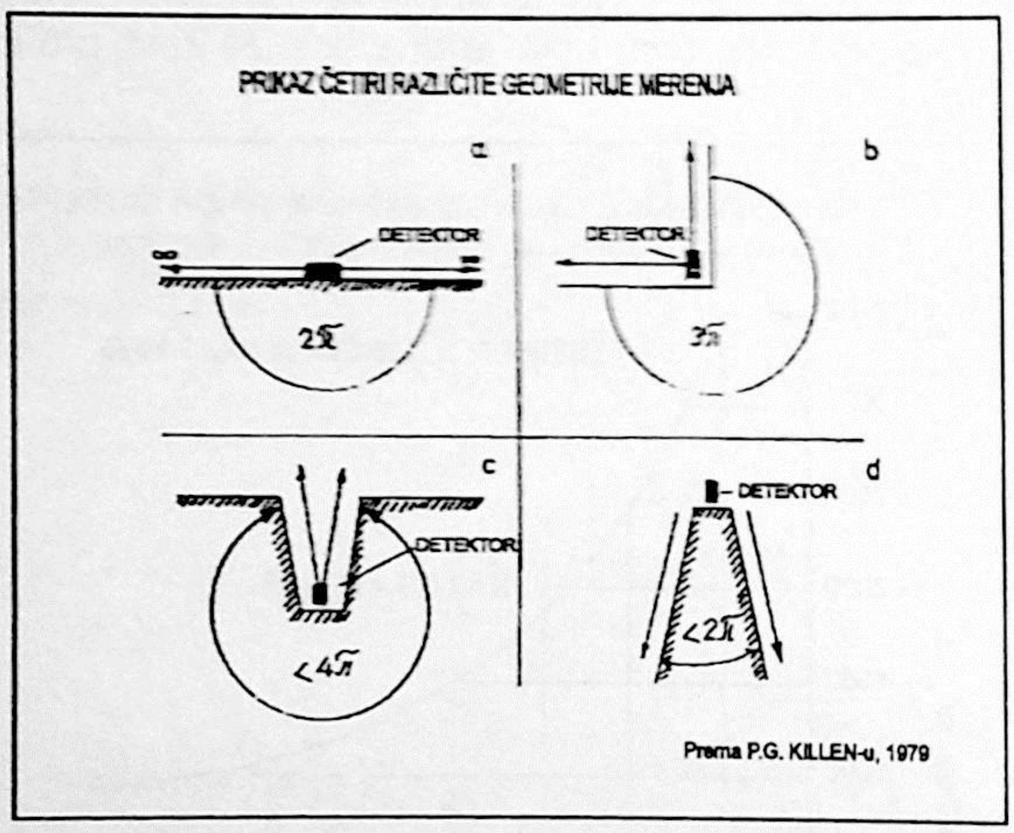
Kalibracija bilo kojeg gama spektrometra vrši se za specifičnu geometriju merenja. Zbog toga je veoma važno znati geometriju merenja. Uzorak rude urana, na primer, sadržaja 1% U_3O_8, proizvešće mnogo manju radijaciju nego izdanak stene sa istim sadržajem U_3O_8, čak iako je detektor lociran na istom odstojanju od izvora. Zbog toga prilikom registrovanja radijacije neophodno je notirati geometriju merenja.

Nekoliko primera prikazanih na slici 10 ilustruje situaciju pri kojoj geometrija merenja može prouzrokovati lažne anomalije ili maskirati stvarne anomalije.

Generalno gledano, radiometrijska merenja se izvode iznad površine zemlje primenom portabilnih gamaspektrometara, spektrometara montiranih na automobil ili primenom aerogama-spektrometara, pri čemu se smatra da je geometrija merenja 2π. U tom slučaju instrumenti moraju biti kalibrisani na ravnom kalibracionom etalonu "beskonačnog" pružanja.

Predpostavimo da je kalibracija gamaspektrometra, čiji je jedan detektor prikazan, na slici 10a, izvršena pri 2π geometriji. Rezultati ispitivanja će biti korektni samo pri geometriji merenja od 2π.

Ako se detektori gama zračenja nalaze u položaju kao na slici 10b i 10c, registruje se i dodatna radijacija. U slučaju položaja prikazanog na slici 10d registruje se manja radijacija nego što bi bila registrovsna za 2π geometriju.



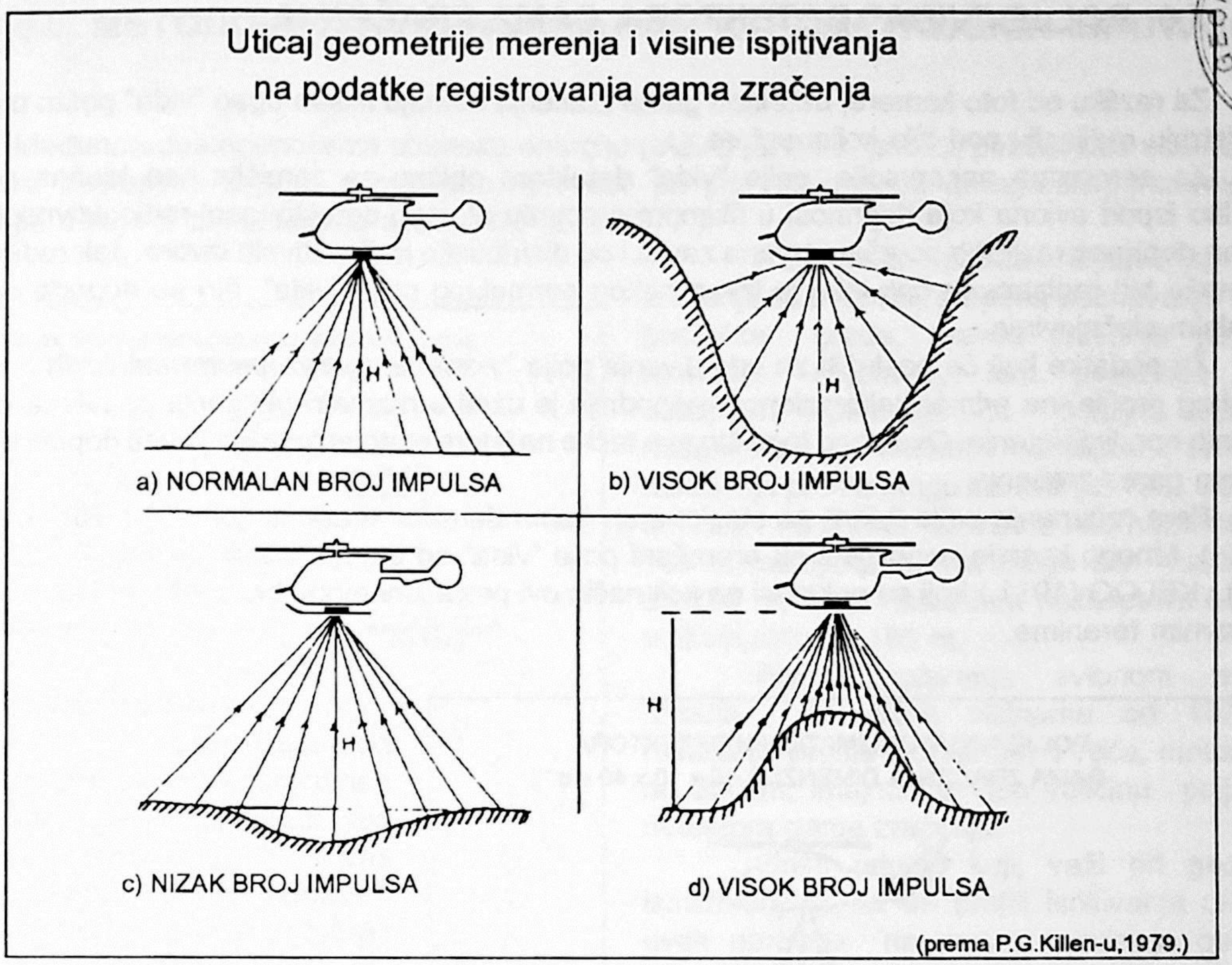
Slika 10

Problem geometrije merenja za portabilne detektore gama zračenja može se rešiti stavljanjem kristala detektora u olovnu kutiju koja bi bila otvorena samo sa strane okrenute ka terenu koji ispitujemo.

Za spektrometre montirane u automobil, zaštita detektora nije moguća jer bi u najčešćem broju slučajeva registrovali isključivo gama zračenje koje dolazi od materijala od kojeg je izgrađena podloga po kojoj se automobil kreće. Na taj način ne bi bilo registrovano lokalno gama zračenje koje je od najvećeg interesa pri autoprospekciji. Korekcija za geometriju merenja može biti najčešće primenjena samo na kvalitativnom nivou ili , u najboljem slučaju, u polukvantitativnom nivou.

Na slici 11 prikazan je još jedan primer efekata geometrije terena na podatke ispitivanja radioaktivnosti metodom aerogamaspektrometrijskih ispitivanja (Killen P.G.,1979.).

INSTITUT - BIBLIOTEKA BEOGRAD 1



Slika 11

Kao što je prikazano na slici 11, helikopter je u mogućnosti da održava konstantnu visinu (H) iznad ravne površine terena (11a) ili široke uvale (11b).Preko oštrog grebena visina je znatno manja od (H) - (11d) ili je veća iznad manje doline (11c).

Kod poslednja dva slučaja geometrija merenja je veća od 2π preko doline a manja od 2π iznad vrha oštrog grebena.

Slične zakonitosti važe i u slučajevima kada se pri aerogamaspektrometrijskim ispitivanjima koristi avion.

Potpuno otklanjanje uticaja geometrije merenja je komplikovano i u praksi se ne vrši, ali se o njoj mora voditi računa u procesu interpretacije podataka.

Određivanje koeficijenata kojima bi, matematičkim metodama, sveli uticaj geometrije merenja na 2π geometriju za aerogamaspektrometrijska ispitivanja, zahtevalo bi formiranje kompleksnog postupka. On bi se bazirao na preciznom skaniranju rastojanja, po pravcu i bočno, od profila terena. Ovako registrovani podaci, uz digitalizaciju izohipsi ispitivanog terena i uz korišćenje računarskih sistema i kompleksnih kompjuterskih programa, omogućili bi nam korekciju podataka i svođenje na 2π geometriju merenja. Tako postavljen problem mogao bi da bude predmet studije više stručnjaka iz različitih oblasti prirodnih nauka.

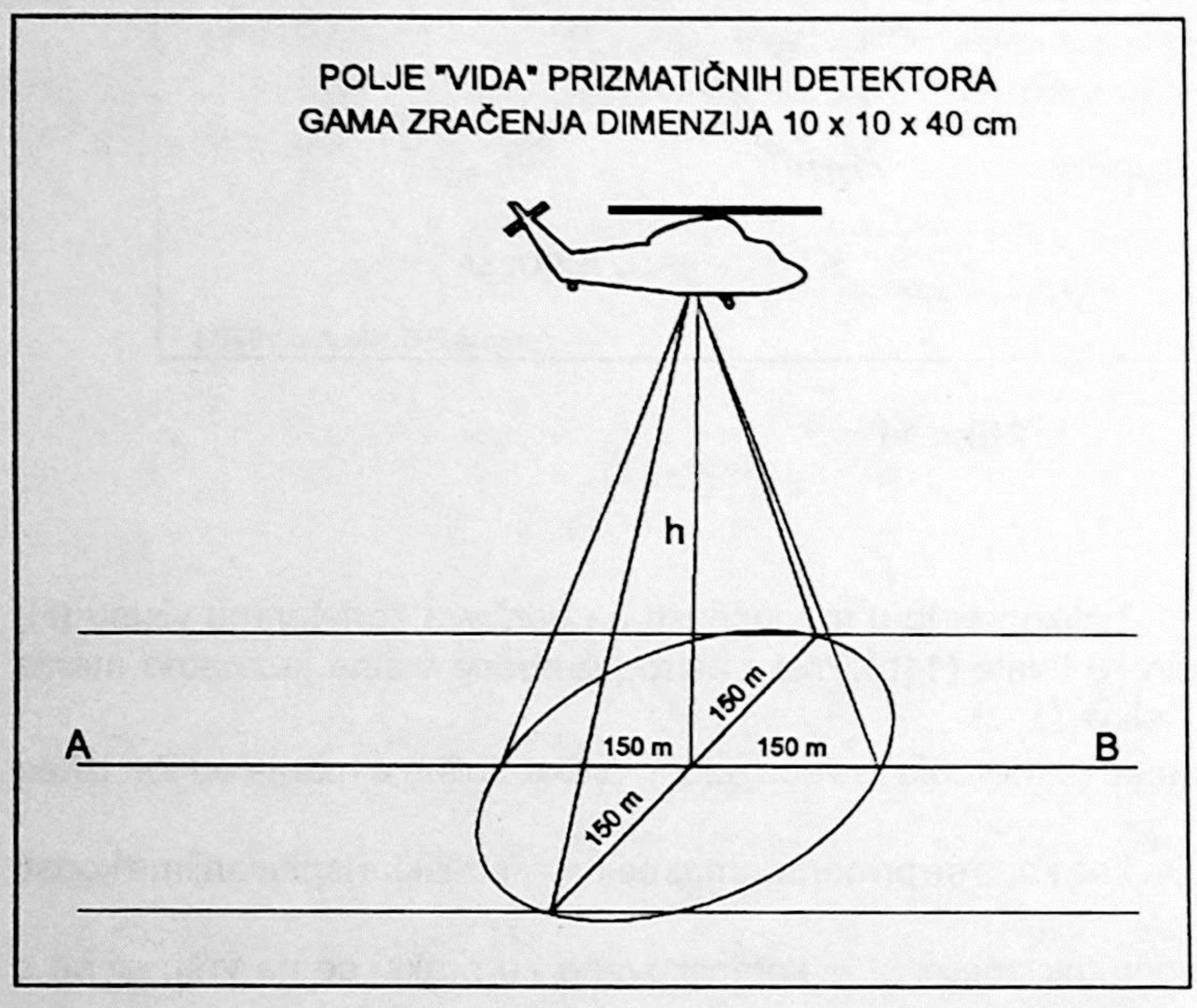
7.0. POLJE "VIDA" DETEKTORA GAMA ZRAČENJA

Za razliku od foto kamere, detektori gama zračenja nemaju fiksan ugao "vida" pošto oni mogu da registruju radijaciju pod bilo kojim uglom.

Za aerogama opservacije, polje "vida" detektora obično se zamišlja kao kružna površina vertikalno ispod aviona koja doprinosi u fiksnom procentu ukupno detektovanoj radioaktivnosti. Ipak, relativan doprinos različitih površina terena zavisi i od distribucije radioaktivnih izvora. Jak radioaktivan izvor može biti registrovan čak iako je izvan nekog normalnog polja "vida", što se događa samo pri specijalnim slučajevima.

Za podatke koji će poslužiti za određivanje polja "vida" aerogamaspektrometrijskih ispitivanja duž nekog profila, na primer kalibracionog, pogodnije je uzeti u razmatranje seriju podataka po visini paralelnih npr. liniji letenja. Ovo zbog toga što sve tačke na istom rastojanju od linije leta doprinose istom količinom gama zračenja.

Prva računanja polja "vida" za stacionaran gama detektor uradio je još 1912. KING (Bristow q.,1979.). Mnogo kasnije ponovljeni su proračuni polja "vida" od strane GODBIJA (1952.) i DUVALA (1971.) i KELOG (1971.) koji su pokazali na koji način ovi proračuni mogu biti korišćeni kad se ispituje na neravnim terenima.



Slika 12

Sva prethodna proučavanja podrazumevala su da detektor gama zračenja ima istu osetljivost, bez obzira na ugao upada gama zraka. To je podrazumevalo da detektori imaju sferni oblik. Međutim, mnogi detektori koji su korišćeni u aeroprospekciji bili su daleko od sfernog oblika, te su konsekventno tome pokazivali značajne varijacije osetljivosti sa promenom ugla pod kojim upada gama zrak. Tako za istu debljinu kristala, a veći prečnik, efikasnost će biti mnogo veća pri detekciji radioaktivnog izvora koji se nalazi direktno ispod aviona od onog pri bočnom položaju izvora.

LOVBORG je 1976. godine, sa grupom saradnika, dao teorijska rešenja zavisnosti ugla pod kojim se nalazi izvor radioaktivnosti i efikasnosti detekcije tog zračenja.

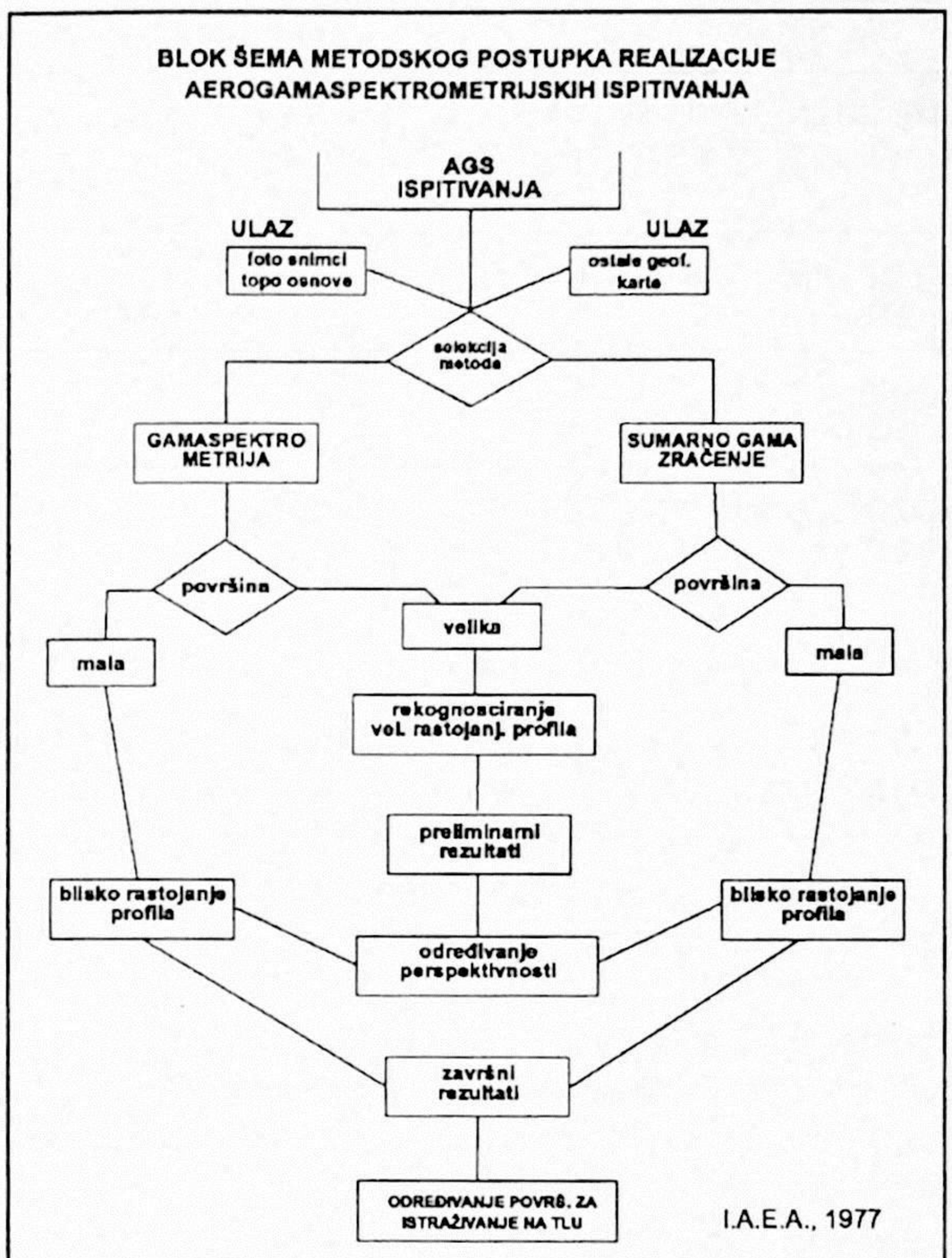
Postoji, takođe, određen broj radova u kojima se prikazuju rezultati eksperimentalnih merenja kojima su određeni elementi takozvanog polja "vida" detektora gama zračenja, izvedenih na različitim visinama ispitivanja. Tom prilikom detektori su bili montirani u helikopter, a testovi su izvođeni sa različitim oblicima i zapreminama detektora (Grasty R:L.,1979.).

Teorijskim radovima izračunato je, a eksperimentalnim opitima potvrđeno, da je polje "vida" detektora gama zračenja dimenzija (10x10x40cm)kružna površina radijusa 300m. Ono je određeno sa visine od 150 m, sa centrom vertikalno ispod detektora, (slika 12).

Prema tome, u toku istraživanja terena ispitujemo površinu terena po traci širine 300 m a dužine jednake dužini profila ispitivanja. Ako želimo da "pokrijemo" celu površinu terena neophodno je da na ravnom terenu profili ispitivanja budu na najvećem međusobnom rastojanju od 300 m.

8.0. METODOLOGIJA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA

Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) je 1973. godine publikovala sintetizovanu proceduru postupaka koje je neophodno sprovesti pri primeni metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja, a koja je prikazana na slici 13 (I.A.E.A.,1977.).



Slika 13

Rastojanja profila ispitivanja gama zračenja su u funkciji stepena poznavanja terena, geološke građe, pravca pružanja geoloških formacija, reljefa i, kao posledica svega detaljnosti ispitivanja. Za detaljna ispitivanja neophodno je koristiti helikopter, pri čemu rastojanja profila mogu biti manja: 150, 200 i 250 m. Tako, na primer, za visinu leta helikoptera od 100 m rastojanja profila mogu biti maksimalno do 200 m, a za visinu leta helikoptera od 50 m maksimalno do 100 m.

Pošto ispitivanja avionom moramo izvoditi na većim visinama od 100-150m rastojanja profila moraju biti i veća, maksimalno do 300 m, imajući u vidu veličinu polja"vida" detektora gama zračenja.

Opšti princip koji, važi pri geološkim istraživanjima, da se profili ispitivanja orijentišu uvek upravno na pravac pružanja geoloških formacija, ruptura, metalogenetskih provincija i slično, primenjuje se i pri AGS ispitivanjima uvek kad je to moguće. Najveći uticaj na orijentaciju profila ispitivanja ima reljef. U planinskom području daleko bolji rezultati dobijaju se kada su profili ispitivanja paralelni pružanju najviših vrhova i geoloških formacija ili ispitivanjem po profilima koji prate izohipse.

Pri ispitivanju relativno ravnih i neistraženih oblasti veličine 1000 do 100 000 kvadratnih kilometara kao što su afričke prašume, kanadski štit, ruska tabla itd. neophodno je ispitivanja izvoditi u više faza:

- rekognosciranje terena i izučavanje rudnih provincija, sa rastojanjem profila 50 km, 20 km, 10 km i 5 km. što nam omogućava određivanje, metodom AGS, najperspektivnijih metalogenetskih provincija u okviru kojih možemo očekivati ležišta urana i drugih metaličnih mineralnih sirovina (Cu, Pb-Zn, Mo, Wo, Au...). Pored toga, određuju se rupturne deformacije veličine više desetina kilometara do više stotina kilometara duž kojih je došlo do cirkulacije hidrotermalnih rastvora, koji su uticali na stvaranje različitih orudnjenja.

-sledeća faza su regionalna ispitivanja, sa rastojanjem profila 1 km ili 0,5 km, pri kojima se određuju u okviru rupturnih zona uže mineralizovane zone. U sedimentnim stenama,takođe, se određuju površine koje su, kao posledica fizičko hemijskih razlaganja stena, obogaćene radioaktivnim materijalima.

-poslednja faza su detaljna ispitivanja, sa rastojanjem profila 0,25 km, 0,20 km i 0,15 km, kojima se određuju uske mineralizovane zone, najperspektivnije za otkrivanje novih ležišta različitih mineralnih sirovina.

Vrlo preglednu tabelu dao je Jakžin A.A.,1961. (tabela VI), koja se u osnovi može i danas prihvatiti, a iz koje se jasno vidi u kojim slučajevima i sa kojim ciljem se koriste različita rastojanja profila.

TABELA VI

RASTOJAJA PROFILA PRI GEOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA			
VID GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA	RAZMERA	CILJ ISTRAŽIVANJA	RASTOJANJE PROFILA
REKOGNOSCIRANJE TERENA	1:1000 000 1: 500 000	IZUČAVANJE RUDNIH PROVINCIJA; GEO. RADOVI KRUPNIH RAZMERA	50km 20km 10km
REGIONALNA ISTRAŽIVANJA	1: 200 000 1: 100 000	OPŠTA OCENA URANOSNOSTI VEĆIH REGIONA	5km
REGIONALNA ISTRAŽIVANJA	1: 50 000	OCENA PERSPEKTIVNOSTI MINERALIZOVANIH ZONA	1km 0,5km
DETALJNA ISTRAŽIVANJA	1: 25 000 1: 10 000	DETALJNA IZUČAVANJA GEOLOŠKIH STRUKTURA PROVERA ANOM. REG. ISTR.	0,25km 0,20km 0,15km
			(Jakžin A.A.,1961.)

Za terene sa velikim razlikama visina duž profila ispitivanja, sa gustom hidrografskom mrežom i nepovoljnim odnosom reljefa i pružanja geoloških formacija, daleko kvalitetniji podaci dobijaju se korišćenjem helikoptera. Ispitivanja helikopterom obavljaju se duž pravolinijskih profila, praćenjem reljefa na unapred definisanoj relativnoj visini ili praćenjem odgovarajućih izohopsi sa unapred određenom ekvidistancijom maršruta ispitivanja. Oba načina rada mogu biti dopunjena dodatnim letovima duž potoka i jaruga.

Relativna visina leta helikoptera može biti različita što zavisi od reljefa terena i cilja istraživanja. Na ravnim terenima (Vojvodina) i brdovitim terenima (Šumadija) visina leta može biti od 50-70m. Na terenima sa raščlanjenim reljefom, odnos no sa velikim promenama visina, na relativno kratkom rastojanju, visina ispitivanja helikopterom može biti i 100 m iznad tla.

Prednost primene helikoptera je u tome što on ima daleko veće mogućnosti praćenja poprečnog profila terena i omogućava detaljnija istraživanja. Nedostatak je taj što se zbog male visine leta smanjuje polje "vida" tako da, ako su velika međuprofilska rastojanja, deo terena ostaje neispitan. Ova osobina povlači zahtev za manjim rastojanjem profila, a to povećava cenu istraživanja.

Primena aviona je moguća za ravne terene, brdovite terene i terene sa izrazitim reljefom, pod uslovom da su doline između vrhova široke i da je povoljan odnos reljef - pružanje geološke formacije.

Pod povoljnim odnosom podrazumeva se da je, uslovno nazvano, geološka formacija više puta duža od svoje širine i da se ona pruža paralelno pružanju najviših vrhova. U tom slučaju, profili ispitivanja bili bi paralelni pružanju geološke formacije i pratili bi reljef na različitim apsolutnim visinama, sa konstantnom relativnom visinom ispitivanja od 100-150 m.

Prednost primene aviona je u tome što pomoću njega za kraći vremenski period možemo ispitati veću površinu. Navigacija letilice u toku ispitivanja, u principu, može biti elektronska i vizuelna.

Primena elektronske navigacije podrazumeva posedovanje specijalnih uređaja - DOPLER navigacionog sistema ili nekog drugog. Poslednjih godina koristi se i satelitska navigacija.

Elektronska navigacija omogućava tačnost određivanja pozicija aviona po profilu od +/- 3m.

Vizuelna navigacija je niži nivo navigacije, koji se koristi paralelno sa elektronskom ili odvojeno od nje. U našim uslovima omogućava tačnost određivanja pozicije aviona od +/- 50 m. Ona podrazumeva korišćenje topografskih karata razmere 1:25 000 ili foto mozaika odgovarajućih razmera.

Rekonstrukcija položaja aviona u toku ispitivanja može biti urađena analizom podataka elektronskih sistema, televizijskih snimaka, topografskih karata i aerofoto snimaka. Pri aerogama-spektrometrijskim istraživanjima, za rekonstrukciju pozicija aviona koristimo aerofoto snimke načinjene u toku ispitivanja, foto mozaike i topografske karte koje nam omogućavaju tačnost određivanja kontrolnih tačaka, u pojedinim slučajevima i manju od +/- 50m bočno po profilima ispitivanja.

Organizacija kontrole podrazumeva, u stabilnim situacijama, povremena ispitivanja radioaktivnosti duž unapred planiranih profila koji bi bili tako postavljeni da se pružaju upravno na pravac mogućeg nailaska radioaktivnog oblaka. Ovakva ispitivanja služila bi za određivanje normalnih vrednosti gama zračenja za dati profil i održavanje sistema u mobilnom stanju.

Regionalna ispitivanja obavila bi se za celu državu u cilju izrade radiometrijske ekološke karte koja bi, takođe, imala funkciju određivanja "normalnih" vrednosti sadržaja prirodno radioaktivnih elemenata i deponovane aktivnosti veštačkih izvora gama zračenja. Poludetaljna i detaljna ispitivanja bi se organizovala za vreme velikih kontaminacija terena, a posle određivanja veličine površine koju treba posebno ispitati.

Svetska iskustva stečena pri radu mnogih MONITORING sistema, a posebno iskustva švedskih stručnjaka u primeni AGS sistema 1986. godine upućuju nas na zaključak da je čak i za vreme najveće kontaminacije neophodno vršiti merenja sistematski.

Na osnovi tog zaključka formirana je Tabela VII koja definiše rastojanja između profila pri ispitivanju veštačkih radioaktivnih izotopa.

TABELA VII

RASTOJANJA PROFILA PRI EKOLOŠKIM ISPITIVANJIMA			
VID ISPITIVANJA	RAZMERA	CILJ ISPITIVANJA	RASTOJANJE PROFILA
REKOGNOSCIRANJE TERENA	1:1000000 1: 500000	POVREMENA KONTROLA	200km 100km
REGIONALNA ISPITIVANJA	1: 200000 1: 100000	IZRADA EKOLOŠKE KARTE	25km 10km
POLUDETALJNA ISPITIVANJA	1: 50000 1: 25000	ISPITIVANJA VEĆIH KONTAMINIRANIH POVRŠINA	5km 1km
DETALJNA ISPITIVANJA	1: 25000 1: 10000	ISP. MANJIH JAKO KONTAMINIRANIH POVRŠINA	0,5km 0,25km
			(M.Milojević,1992.)

Autor tabele VII u svom radu rukovodio se činjenicom da je teritorija Jugoslavije bila značajno kontaminovana veštačkim radioaktivnim izotipima 1986. godine, a da je površina TMK značajno kontaminovana prirodnim radioaktivnim elementima. Zbog toga su i planirana ispitivanja sa rastojanjem profila od 250m na delu TMK sa ciljem razvijanja kompletnog metodskog postupka primene AGS ispitivanja u okviru ekoloških postupaka kontrole čovekove životne sredine.

9.0. DETEKCIJA GAMA ZRAČENJA

Uređaji i tehnika koji se koriste pri modernoj primeni spektrometara gama zračenja biće opisani počevši od fundamentalnih principa neophodnih za razumevanje procesa primene ove metode.

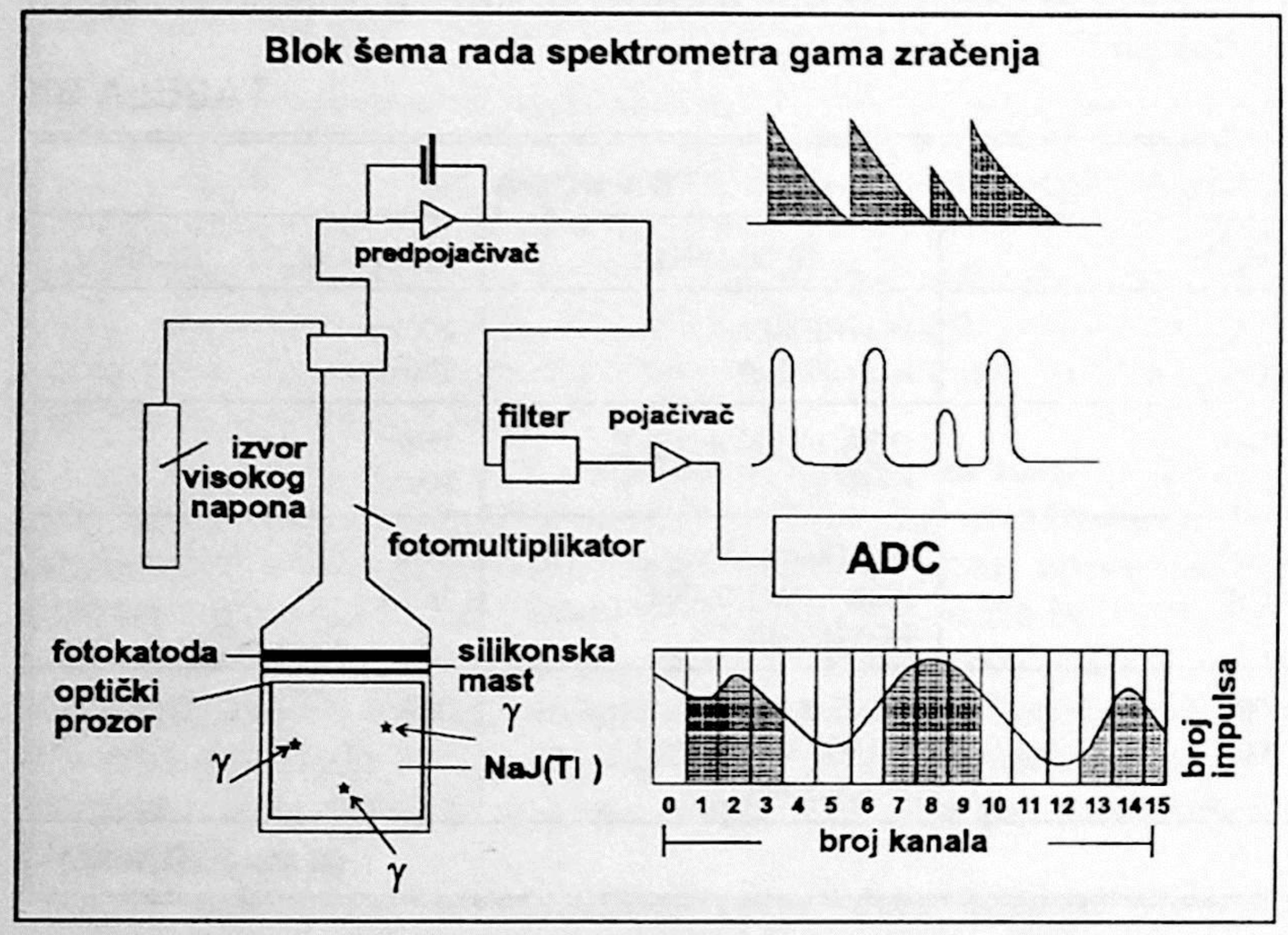
Kao što znamo, u zemljinoj kori postoje tri radioaktivna elementa koje je lako detektovati mrenjem energija gama zračenja emitovanog od strane njihovih prirodnih izotopa: K-40 , Bi-214 i Tl-208.

Istorijski gledano, sve do ranih pedesetih godina nije postojala metoda razdvajanja različitih energija gama zračenja. Standardni uređaji za detekciju gama zračenja bili su GAJGER-MILEROVI BROJAČI, koji su omogućavali samo registrovanje sumarnog gama zračenja i to sa veoma niskom efikasnošću.

Pronalazak scintilacionog detektora gama zračenja bio je veliki napredak iz najmanje dva razloga:

- on ima efikasnost detekcije oko 100 puta veću od GAJGER-MILEROVIH brojača, u energetskom opsegu koji je od interesa u geologiji i
- električni impuls, stvoren kao posledica udara gama zraka u telo scintilacionog detektora, proporcionalan je energiji upadnog gama zraka .

Na slici 14 prikazana je blok šema jednog detektora gama zračenja. Primenom odgovarajućih elektronskih kola za sortiranje i brojanje impulsa saglasno njihovim AMPLITUDMA, moguće je izdvojiti i odrediti energije gama zračenja upadnih gama zraka koji potiču od izotopa pomenuta tri radioaktivna elementa. OPISAN POSTUPAK NAZIVA SE GAMA-SPEKTROMETRIJA.



Slika 14

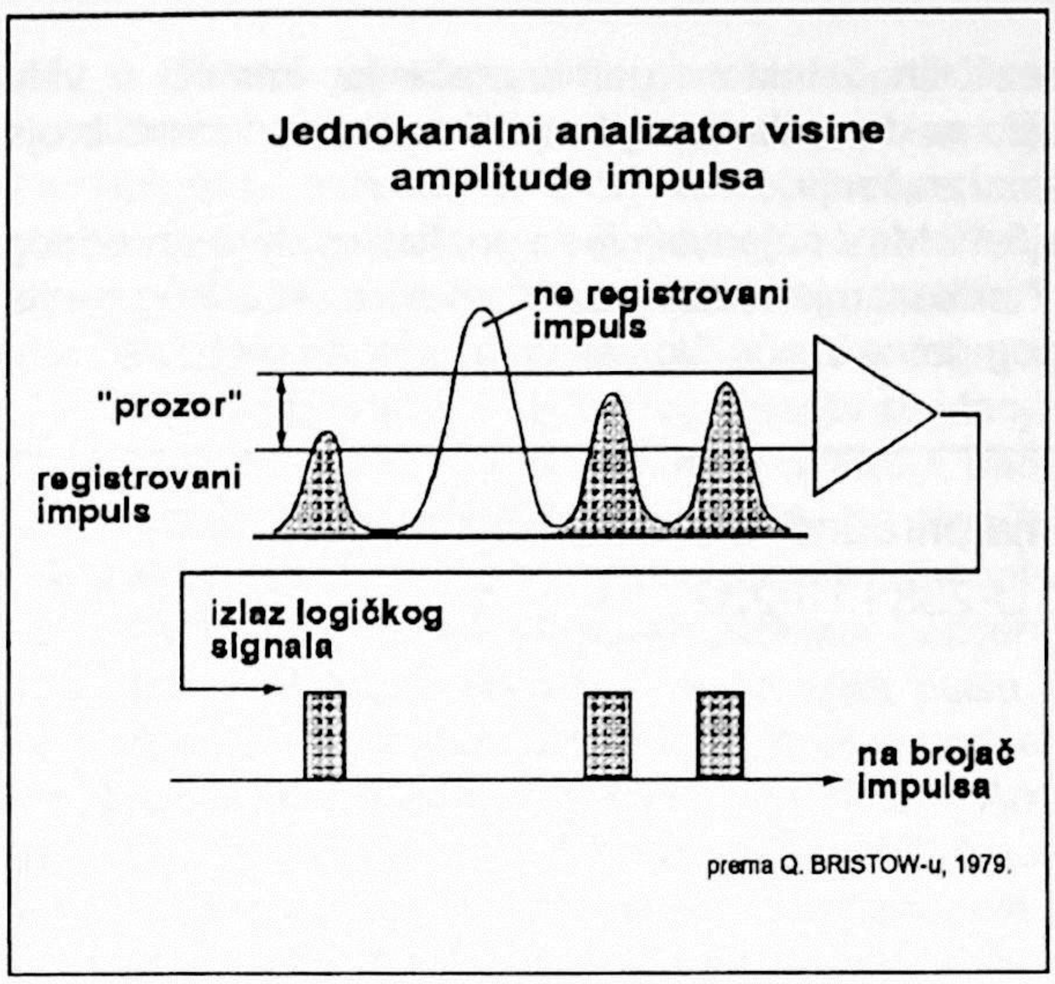
Gama zrak koji je apsorbovan u kristalu izaziva slabu svetlosnu emisiju, svetlost ili SCINTILACIJU. Intenzitet scintilacije proporcionalan je energiji gama zraka koji ju je izazvao. Fotomultiplikator, koji je spojen sa kristalom, konvertuje svetlosni foton, na foto osetljivoj katodi, u električni impuls. Na izlazu iz fotomultiplikatora registruje se električni impuls koji se dalje amplificira i sortira.

Postupak sortiranja impulsa prema visini njihove amplitude naziva se analiza visine impulsa. Najelementarniji metod analize impulsa je prikazan na slici 15. On obuhvata sledeći postupak: preko jednog diskriminatornog kola, koje prihvata sve impulse iznad ili ispod određene visine amplitude registrujemo efekte gama zračenja u intervalu koji je od interesa za naša istraživanja. Opisan način u praksi poznat je kao jednokanalni analizator visine impulsa (Bristow q.,1979.).

Do sredine 60-tih godina u primeni je bio četvorokanalni analizator gama zračenja.

Krajem šezdesetih godina pristupilo se konstrukciji sledeće generacije instrumenata čiji se rad zasniva na sličnim fizičkim principima. Tehnološki napredak u izradi elektronskih kola omogućio je daleko detaljniju analizu energija svih gama zraka , digitalni zapis dobijenih podataka i obradu na računaru.

Sa gledišta konstrukcije instrumenta bilo je potrebno rešiti problem analize impulsa, nastalih kao posledica upada gama zraka u telo detektora, tako da se oni analiziraju u prethodno konstruisanim energetskim opsezima nazvanim "KANALIMA" i "PROZORIMA" (slika 17) u toku dugog vremenskog perioda. Faktori koji izazivaju pogrešne rezultate u tom procesu mogu se svesti na sledeće:



Slika 15

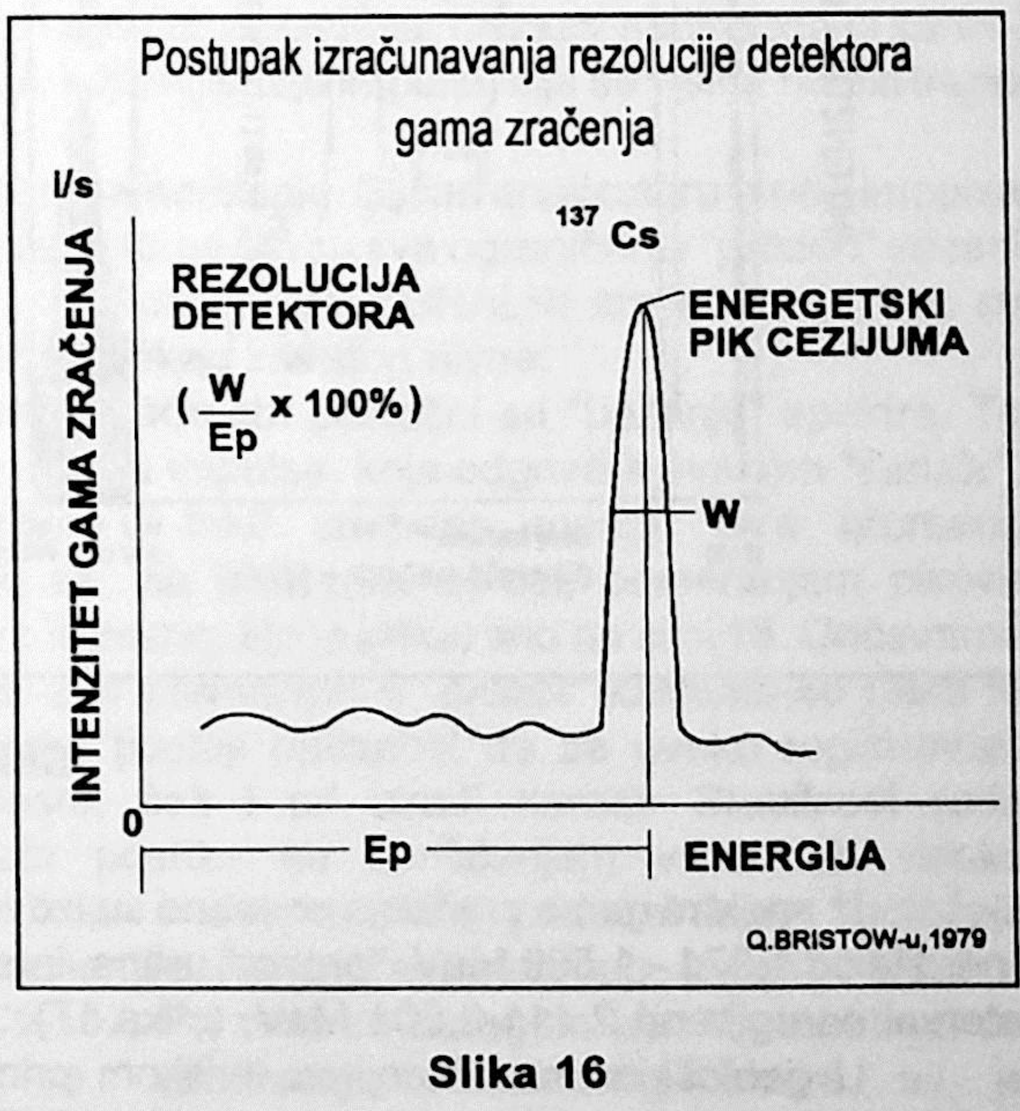
neodgovarajuća statistika merenja, loša rezolucija detektora, bežanje signala, promena širine "kanala" i "prozora", distorzija spektra, "komptonov" efekat; osnovna radijacija i atmosfersko slabljenje gama zračenja. Tehnika i oprema koja se danas koristi konstruisani su tako da rešavaju sve ili skoro sve pobrojane probleme, a iz praktičnih razloga ona je podeljena u sledeće grupe: **DETEKTORI GAMA ZRAČENJA, STABILIZATORI SIGNALA, ANALIZATORI VISINE IMPULSA, STABILIZATOR SPEKTRA GAMA ZRAČENJA, INSTRUMENTI ZA PRAĆENJE, PRIKAZ PODATAKA I REGISTROVANJE PODATAKA.**

9.1. Scintilacioni detektori

Scintilacioni detektori gama zračenja imaju najširu primenu pri aerogama-spektrometrijskim istraživanjima i čini se da će još dug niz godina biti korišćeni jer, za sada, zadovoljavaju zahtevane uslove pri geološkim istraživanjima. Najrasprostanjeniji primeni su detektori izgrađeni od natrijum jodida aktiviranog talijumom NaJ (Tl), iako postoje i druge vrste, kao naprimer plastični i slično. Dimenzije kristala NaJ (Tl) bile su različite, a od 1975. godine u primeni su oblika prizme, dimenzija 10x10x40cm.

Jedna od standardnih karakteristika scintilacionih detektora je **REZOLUCIJA** energetskog pika izvora cezijuma-137. Rezolucija je mera širine fotopika i mera sposobnosti detektora da razloži dva pika koja se nalaze na bliskom rastojanju. Postupak izračunavanja rezolucije prikazan je na slici 16.

Na prikazanom primeru rezolucija detektora je količnik energije izvora gama zračenja, u ovom slučaju Cs-137 (0,662KeV), i širine energetskog pika na polovini njegove amplitude, izražen u procentima. Rezolucija detektora gama zračenja, oblika prizme dimenzija 10x10x40cm, kreće se od 8,5- 9,5%.



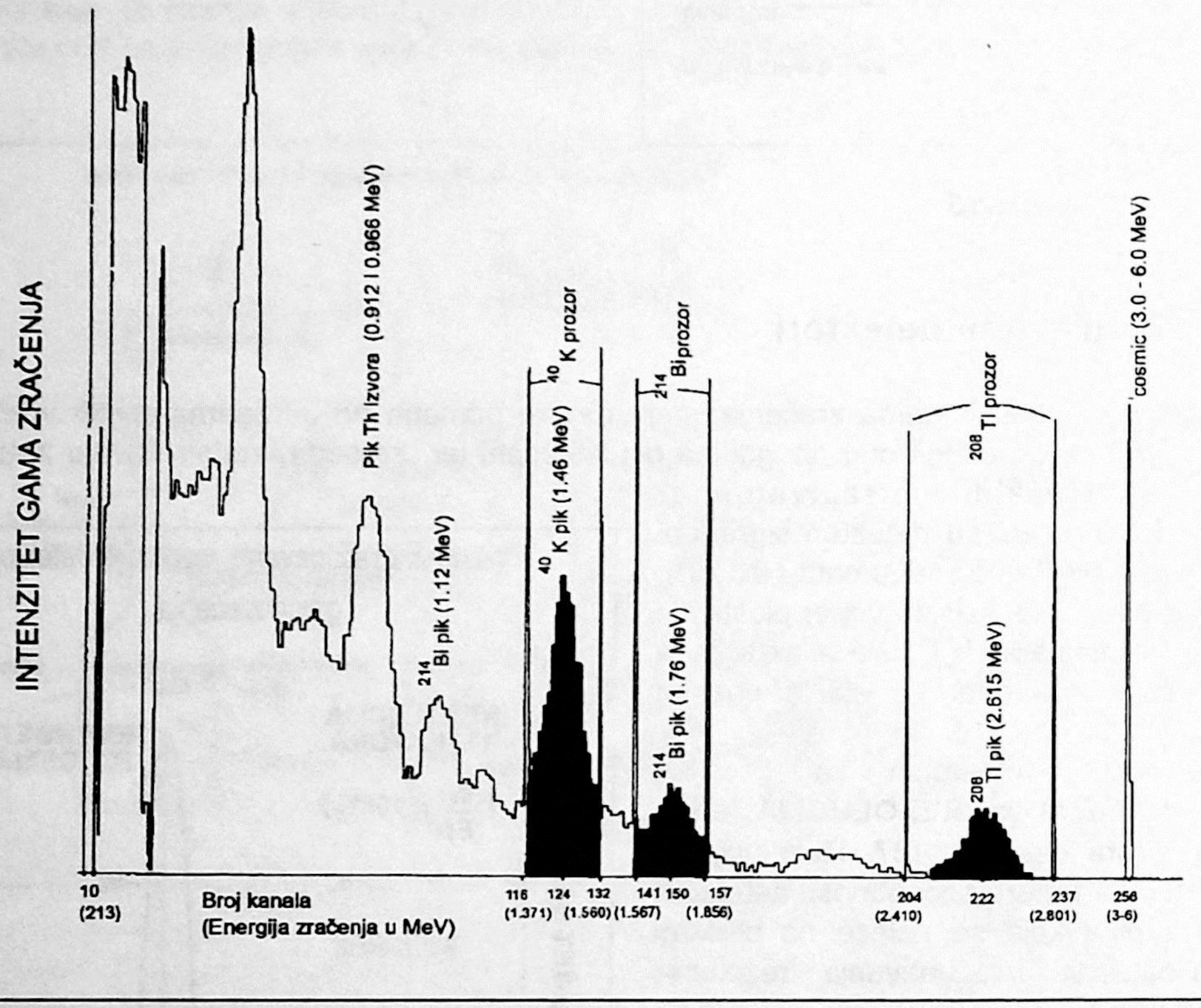
Slika 16

9.2. Analiza visine impulsa

Posle ispitivanja i analize karakteristika različitih detektora gama zračenja, imajući u vidu energetski opseg prirodno radioaktivnih izotopa, došlo se do optimalnog broja "kanala", odnosno broja analizatora visine impulsa za spektar prirodnog gama zračenja.

Utvrđeno je da je broj od 256 "kanala" širine 0,12 MeV najpovoljniji za analizu spektra prirodnog gama zračenja u intervalu od 0 - 3 MeV. Na slici 17 prikazan je tipičan izgled spektra prirodnog gama zračenja, registrovan u prisustvu izvora radioaktivnog gama zračenja: kalijuma, urana i torijuma.

Spektar gama zračenja prirodno radioaktivnih izvora
K-40, U-238 i Th-232.



Slika 17

Iz spektra gama zračenja posebno su izdvojeni delovi koji su nazvani "prozori" kalijuma, interval energija od 1,371 - 1,560 MeV, "prozor" urana, interval energija od 1,667-1,856 MeV i "prozor" torijuma, interval energija od 2,411-2,801 MeV, (slika 17).

U geološkim istraživanjima, prilikom primene metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja koriste se podaci registrovani unutar opisanih "prozora" zbog čega su oni i projektovani prilikom određivanja koncepcije primene metode i izrade instrumenata.

10.0. SPEKTROMETRIJA GAMA ZRAČENJA

Termin spektrometrija gama zračenja koristi se za opisivanje procesa izdvajanja, filtriranja, amplifikacije i analize visine električnih impulsa koji dolaze iz fotomultiplikatora. Dalje, informacije koje ti signali nose prevode se u digitalni oblik ili se koriste direktno u nekom od audio ili vizuelnih uređaja.

U postupku registrovanja gama zračenja, cilj je da slab signal, koji dolazi na anodu fotomultiplikatora scintilacionog detektora, u obliku naponskog pulsa, amplitude proporcionalne energiji upednog gama zraka, bude amplificiran i u daljem postupku analiziran.

Kvalitetni sistemi poseduju osetljiv predpojačivač za svaki detektor, najčešće lociran u samom detektorskom paketu, koji odmah konvertuje naponski puls. Ovo je praćeno specijalnim kolom za amplifikaciju koje oblikuje puls tako da se dobija najpovoljniji odnos signala i "šuma". Na slici 14 prikazan je signal po izlasku iz predpojačavača opterećen "šumovima", koji je loše definisan. Međutim, posle filtriranja i prolaska kroz amplifikator dobijen je pogodan izgled pulsa koji, dalje, može biti lako analiziran. Generalno se zahteva, da oblik pulsa posle filtriranja i amplifikacije ima izgled Gausove krive. Posle prolaza kroz pojačavač signal je upućen na konverter analognog signala u digitalni (ADC), koji je sličan digitalnom voltmetru velike brzine. Amplituda svakog signala koji dolazi u ADC konverter analizira se i pripisuje odgovarajućem "kanalu", čiji broj može biti od 1 do 256 za aerogamaspektrometre. ADC konverter ima karakteristiku ili sposobnost rangiranja ili sortiranja signala po amplitudama, odnosno energijama, u jedan od 256 "kanala". Ovaj postupak je ekvivalentan radu 256 jednokanalnih analizatora visina impulsa.

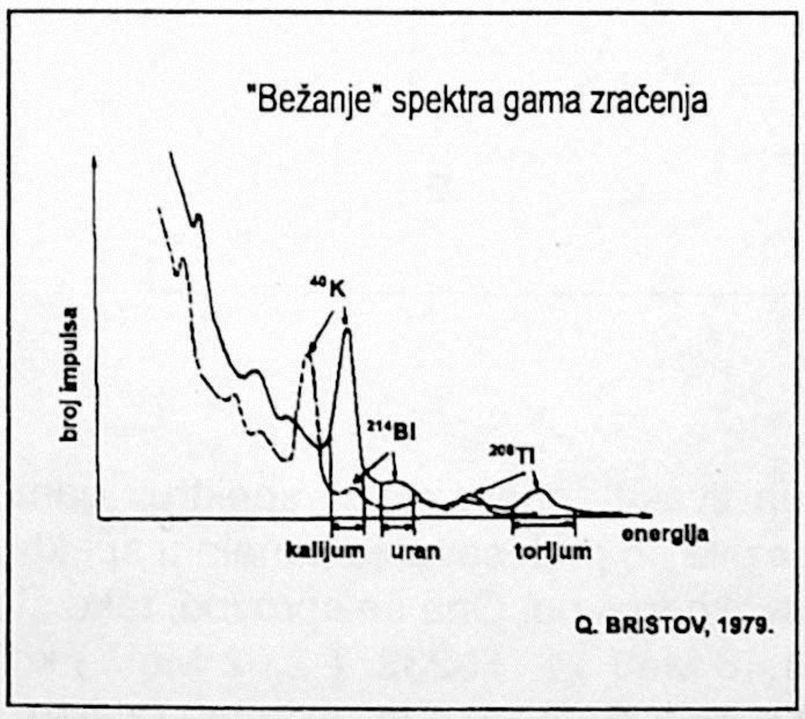
Osim toga, neophodno je imati i 256 brojača koji registruju svaki signal prispeo u odgovarajući "kanal". Sa te tačke gledišta postoje dva alternativna načina korišćenja podataka :

- prvi način koristi 256 lokacija u memoriji mikrokompjutera ili ekvivalentnog uređaja prilikom čega se uvećava broj u svakoj lokaciji kada je signal koji joj odgovara prispeo,

-drugi način koristi digitalno kolo koje uvećava broj u brojaču koji odgovara ranije projektovanim i navedenim "prozorima".

Prvi način omogućava nam prikaz sličan dijagramu energija, prikazan na slici 17, sa 256 diskretnih koraka koji prikazuju broj gama zračenja koji su upali u svaki "kanal". To može biti prikazano na analognom ili video monitoru, tako da direktno možemo pratiti ispitivanja. Ovakav način rada je karakteristika takozvanih DIFERENCIJALNIH spektrometara, koji registruju impulse čija se visina nalazi u vrlo bliskim granicama, na primer 12 KeV - 0,12MeV.

Drugi metod je uopšteniji i može biti korišćen bez memorisanja. Sličan analizatoru visine impulsa pojedinačnog signala, iz pedesetih godina, ali je napredak u tome što su sva ograničenja "prozori" vezani ze pozicije "kanala". Ovakav način rada mogu koristiti takozvani INTEGRALNI spektrometri, koji su projektovani da razdvajaju energije gama zračenja iznad nekog zadatog nivoa.



Slika 18

Svi spektrometri podložni su "bežanju" spektra. To znači da se visina impulsa, koja odgovara svakom "kanalu", date energije u toku vremena menja. Ova promena manifestuje se, na horizontalnoj osi, pomeranjem pikova spektra levo ili desno, što je prikazano na slici 18. Uočavamo da je pik Bi-214 premešten u "prozor" kalijuma-40 i ako to ne korigujemo postoji opasnost da se ovako registrovani podaci koriste, čak i pri izradi karata. Stabilnost rada instrumenata postiže se korišćenjem vrhunskih visoko naponskih kola i automatskim podešavanjem položaja referentne energije nekog radioaktivnog izvora, najčešće Ba-133 i Cs-137. Pri radu sa aerogamaspektrometrima, ne praktikuje se ugrađivanje referentnog izvora ali je neophodna svakodnevna provera stabilnosti rada instrumenta korišćenjem radioaktivnih izvora U-238, Th-232 i K-40.

11.0. KALIBRACIJA SPEKTROMETARA GAMA ZRAČENJA

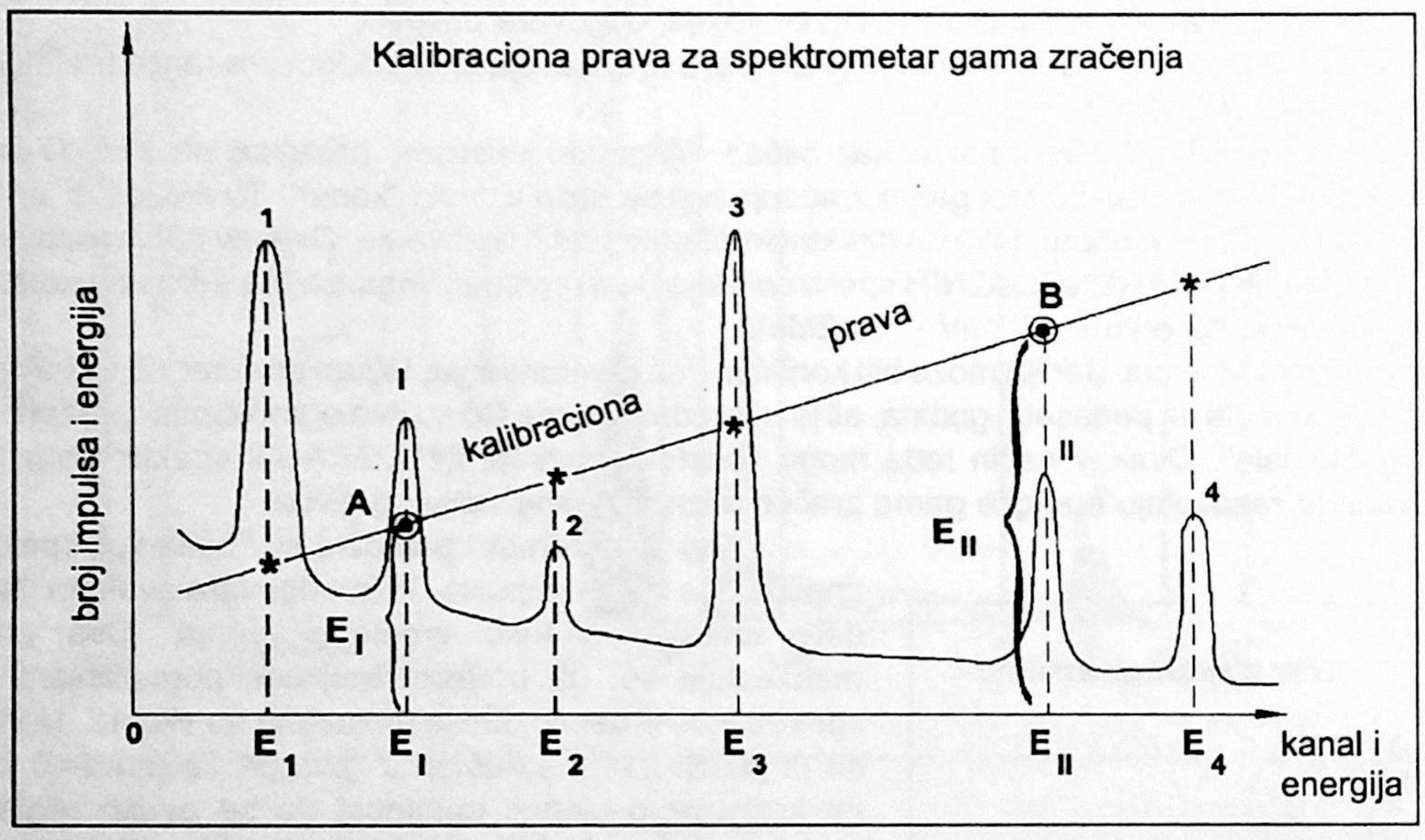
Gama spektrometri su instrumenti čiji se podaci koriste u ekologiji i geologiji u procesu **KVALITATIVNE** i **KVANTITATIVNE** analize aktivnosti veštačkih radioaktivnih elemenata deponovanih na površini terena i sadržaja prirodno radioaktivnih elemenata u stenama od kojih su izgrađeni tereni koje istražujemo.

Za primenu podataka u procesu kvalitativne analize, neophodno je izvršiti energetsku kalibraciju instrumenata.

Postoje dve vrste kalibracije instrumenata :

-prva se zasniva na činjenici da su svi spektrometri linearni. To znači da će zračenje dva puta veće energije dati impuls dva puta veće amplitude, a da će on u procesu analize biti registrovan u "kanalu" sa dva puta većim rednim brojem, što je prikazano na slici 19.

Ako poznajemo energiju dva radioaktivna izvora (E_I) i (E_{II}) koje ćemo zvati kalibracionom energijom, položaj spektralne linije, odnosno redni broj kanala u kojem se linija nalazi, definisan je dovoljno dobro položajem simetrale date linije. Na mestu linija (I) i (II) odmeri se po ordinati onoliko rastojanje koje odgovara njihovim energijama, u odgovarajućim jedinicama. Tako određene tačke (A) i (B) spajaju se pravom linijom. Ta prava je KALIBRACIONA PRAVA. Energije nepoznatih linija u spektru, kao i brojeve kanala očitavamo kao rastojanje od apcise do kalibracione prave na poziciji datog kanala, direktno, u već upotrebljenim energetskim jedinicama. Na taj način podelili smo apcisu na "kanale", odnosno amplitude impulsa, a ordinatu na energetske jedinice. Ova vrsta kalbracije definisana je elektronskim sistemima i u praksi se vrlo retko na nju spolja utiče.



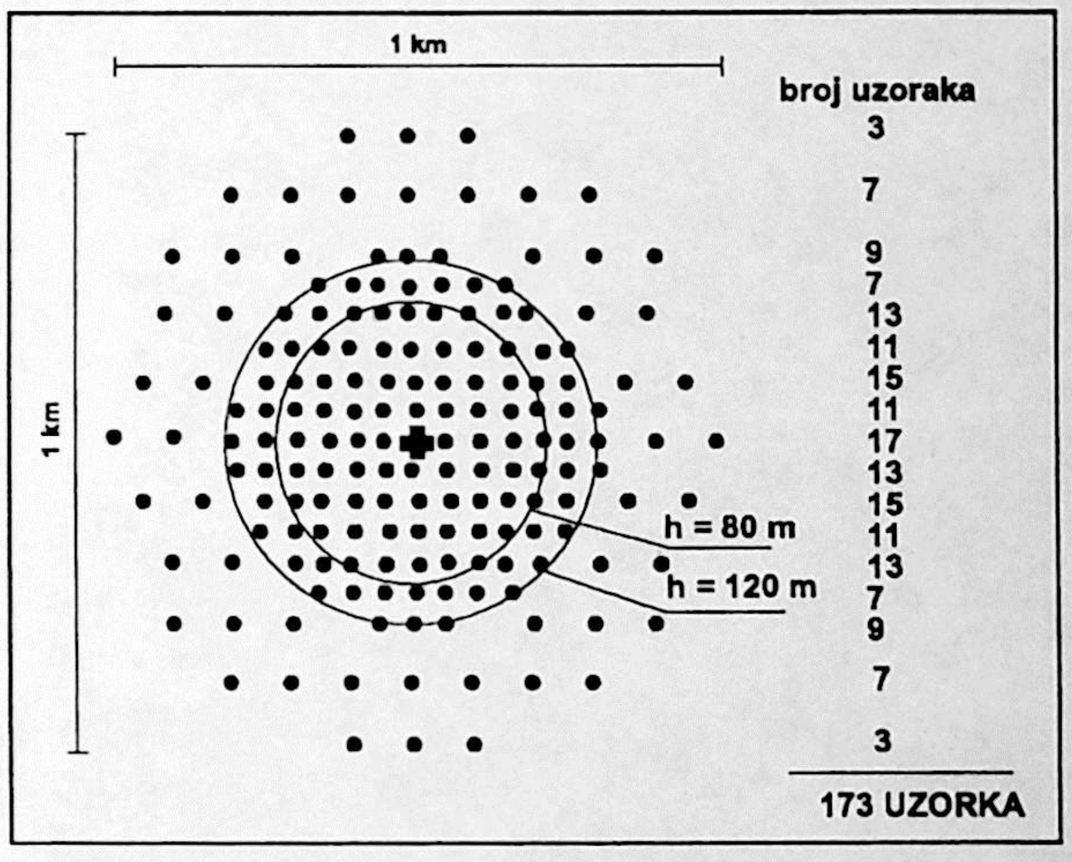
Slika 19

-druga vrsta je kalibracija pomoću koje postižemo, da svaka energija u spektru gama zračenja bude registrovana u "kanalu" koji je određen za nju naziva se podešavanje kanala u spektru gama zračenja. Ovu vrstu kalibracije neophodno je sprovoditi svakodnevno. Ona se sprovodi tako što se koriste energetski pikovi Cs-137 (0,662 MeV), U-238 (1,46 MeV) i TH-232 (2,62 MeV) koji se dovode u "kanale" 56, za pik Cs, 124, za uran i kanal 222, za torijum. Ako je sistem stabilan, i prva vrsta kalibracije radi korektno, tada će se svaka druga energija iz spektra prirodnog gama zračenja nalaziti u odgovarajućem "kanalu".

U slučaju da želimo da aerogamaspektrometrijske podatke koristimo u postupku KVANTITATIVNE analize neophodno je uraditi i kalibraciju instrumenata koja nam omogućava izračunavanje različitih konstanti, koje koristimo u procesu obrade podataka. Te konstante nazivane su konstante **"OSETLJIVOSTI"** (Δkk, Δuu i Δtt) i konstante **"KORIGOVANJA"** (Sku, Skt, Suk, Sut, Stu i Stk). Konstante korigovanja merenog podatka primenjuju se za otklanjanje uticaja "KOMPTONOVOG" efekta. Ove konstante mogu se odrediti na dva načina:

-primenom **veštačkih betonskih kalibracionih etalona** odgovarajućih dimenzija i sadržaja prirodno radioaktivnih elemenata kalijuma, urana i torijuma (Slike 21 i 22). IAEA preporučuje sadržaje radioaktivnih elemenata u kalibracionim pločama od 8%, kalijuma, nula (ppm) U i Th u kalijumskom etalonu, nula (%) kalijuma, 50ppm urana i nula (ppm) torijuma, u torijumskom etalonu i nula (%) kalijuma, nula (ppm) urana i 120ppm torijuma u torijumskom etalonu.

-merenjem intenziteta gama zračanja iznad **prirodnih kalibracionih etalona,** horizontalnih, dovoljno velikih i, pre svega, homogenih geoloških sredina sa ujednačenim, preovlađujućim i tačno određenim sadržajem **samo jednog** od tri prirodna radioaktivna elementa (K, U i Th) koji su od glavnog interesa za AGS proučavanja. U tom cilju različiti stručnjaci su na različite načine koristili prirodne geološke formacije za utvrđivanje matematičke relacije između registrovanih podataka i sadržaja prirodno radioaktivnih izotopa u stenama iznad kojih se registruje intenzitet gama zračenja. Ilustrativno je iskustvo čehoslovačkih geofizičara koji su u cilju rešenja problema kalibracije gama spektrometara odabrali tri površine u okolini Brna koje su izgrađene od od peščara, ganajsa i sijenita. Analiza uzoraka je planirana tako da uzorci budu uzeti sa površine dimenzija (1kmx1km) po mreži koja je prikazana na slici 20. Ukupan broj uzoraka od 173 je prikupljen i kasnije analiziran laboratorijskim gamaspektrometrom pri čemu je određena koncentracija elemenata sa sledećom tačnošću za koncentraciju kalijuma +/-0,2%, U; +/-0,5 ppm i Th +/- 0,9ppm. Pošto pri primeni detektora gama zračenja pri AGS ispitivanjima 90% registrovanih gama fotona dolazi sa površine čiji radijus 300m, ako se detektori nalaze na visini od 150m, neophodno je bilo planirati mesta uzorkovanja tako da bude ravnomerno pokrivena cela površina.



Slika 20

Na TABELI VIII prikazane su geohemijske karakteristike stena odabranih u Čehoslovačkoj za prirodne kalibracione etalone kao geološke sredine.

TABELA VIII

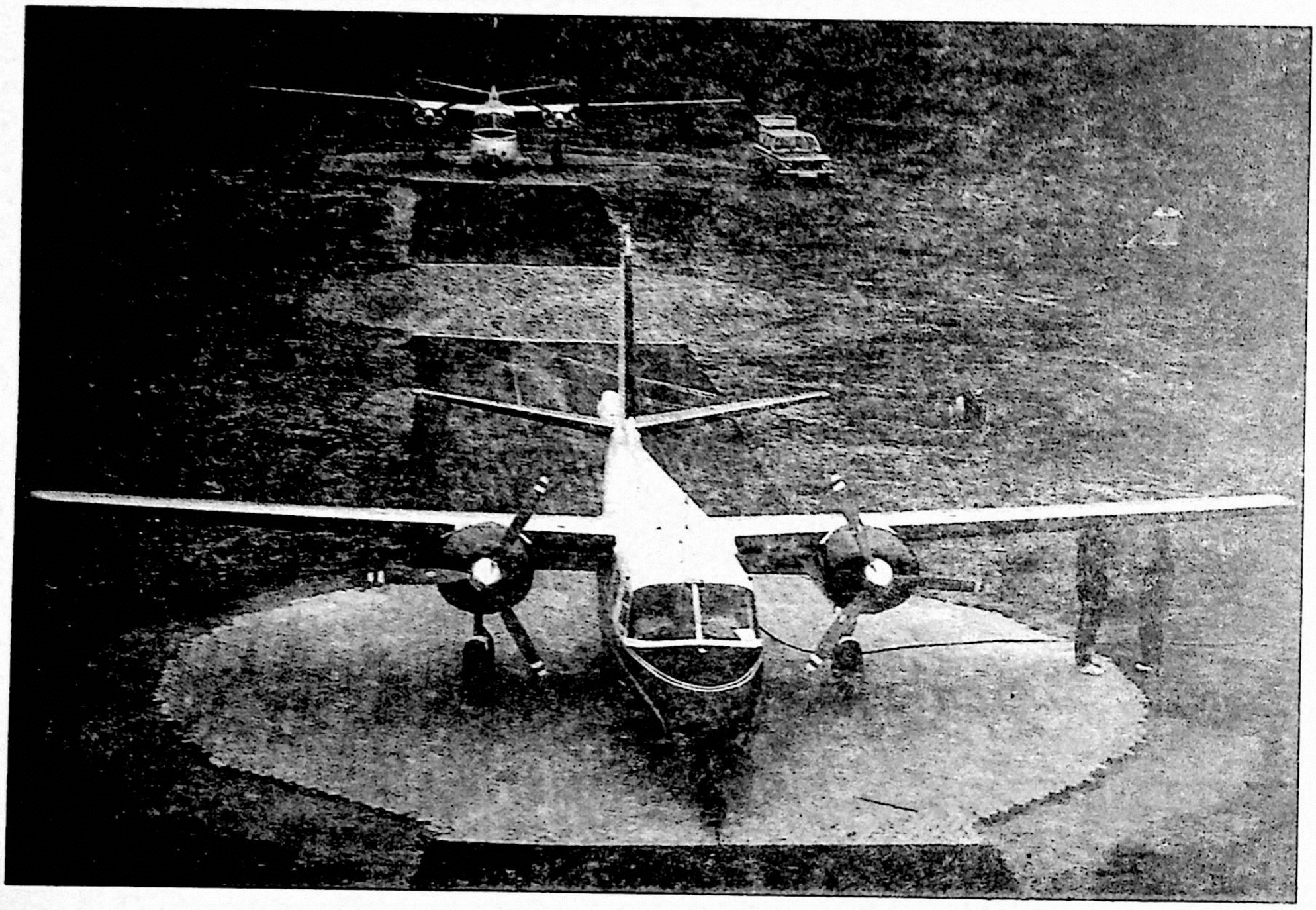
SADRŽAJI K, U I TH U PRIRODNIM ETALONIMA

KALIBRACIONA POVRŠINA	KALIJUM (%)	URAN (ppm)	TORIJUM (ppm)	KOLIČNICI		
				U/K	Th/K	Th/U
1. VIDEN (PEŠČAR)	3.3	2.6	5.5	0.8	1.7	2.1
2. NIŽKOV (GNAJS)	3.1	3.5	3.4	1.1	1.1	1.0
3. DOLNI (SIJENIT)	4.0	6.3	29.4	1.6	7.4	4.7

(I.GNOJEK,K.DEDAČEK,1987)

S obzirom na to da je teško naći najmanje tri homogene geološke formacije, koje bi zadovoljavale postavljene uslove, sa sadržajima kalijuma od 5-7 %, pri čemu bi sadržaj urana i torijuma bio oko nule, urana od 30-50ppm, a sadržaj torijuma i kalijuma težio nuli, ili stenske mase sa sadržajem torijuma od 30-50 (ppm) sa sadržajem, urana i kalijuma bliskim nuli, za kalibraciju gamaspektrometara koriste se veštački, betonski radioaktivni etaloni.

Prvi veštački etaloni za kalibraciju (portabilnih i aero) gama spektrometara urađeni su 1968. u Kanadi (na aerodromu Upland kraj Otave), zatim u SAD (Grand Junction) u Iranu (Teheran), Švedskoj (Borlange), kraj Upsale (Tabela IX i slika 21). Za kalibraciju samo portabilnih gamaspektrometara izgrađeno je više grupa veštačkih kalibracionih etalona i to u Kanadi (Otava 10 etalona, Kalgari 7 etalona), Danskoj (4 etalona), Južnoafričkoj Republici (11 etalona) i USA (5 etalona).



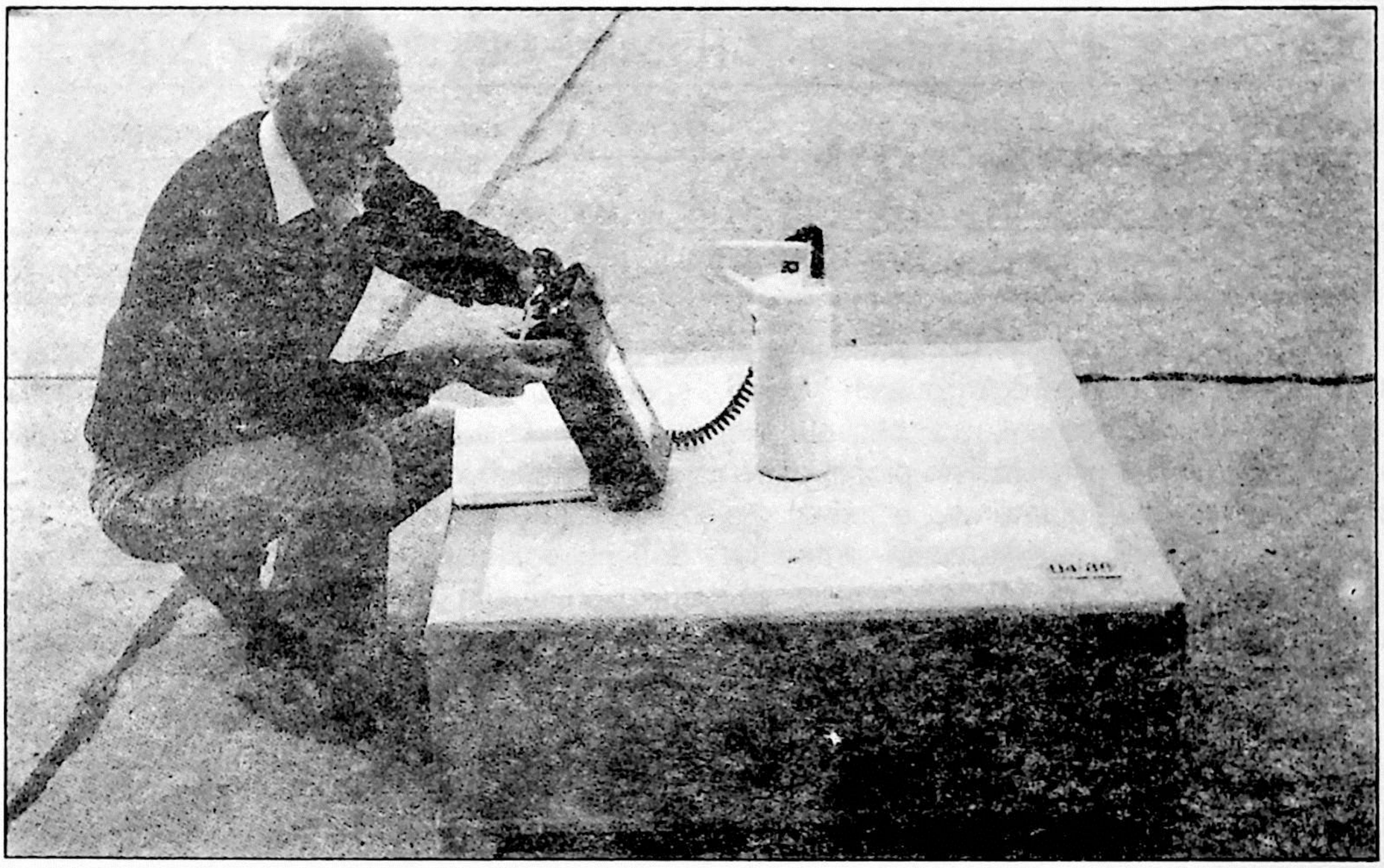
Slika 21

Etaloni za kalibraciju terestričkih i aerogamaspektrometara (Borlange, Švedska, SGAB)

TABELA IX

KONCENTRACIJA (K, U i Th) u KALIBRACIONIM ETALONIMA "BORLANGE"			
KALIBRACIONI ETALON	K (pct)	U (ppm)	Th (ppm)
BLANKO	1	2	3
K-ETALON	7.7	2	3
U-ETALON	1	25	3
Th-ETALON	1	4	50
			(SVERIGES GEOLOGISKA AB)

U novije vreme, pose dužeg proučavanja i testiranja, zaključeno je da su dovoljno dobri za kalibraciju portabilnih i, što je veoma značajno, aerogamaspektrometarskih sistema takozvani portabilni kalibracioni etaloni čije su dimenzije (1m x 1m x 0,3 m), (slika 22) koji su u širokoj primeni u Kanadi i USA.



Slika 22

Prenosivi kalibracioni etaloni za portabilne i aero gamaspektrometre
R. L. Grasty (G.S. Canada,1987)

Četri transportabilna kalibraciona etalona relativno male težine, (700 kg svak)i, omogućavaju korektnu realizaciju AGS ispitivanja i na terenima koji su daleko od, ipak, veoma malog broja i veoma skupih velikih kalibracionih etalona. Sastav etalona preporučen je od strane IAEA. Za njihovu izradu korišćena je kanadska uranska i torijumska ruda selektovana u IAEA. Odabrana je uranska ruda koja je veoma slab emanator radona što je redukovalo problem gubljenja radona i u vezi sa tim promena karakteristika etalona, a samim tim i promena konstanti koje je potrebno izračunati na osnovo sadržaja urana u etalonima. Na Tabeli X prikazani su sadržaji prirodno radioaktivnih elemenata u portabilnim kalibracionim etalonima kanadske proizvodnje:

TABELA X

Koncentracija (K, U i Th) u etalonima			
KALIBRACIONI ETALON	K (pct)	eU (ppm)	eTh (ppm)
BLANKO	1.43	0.94	2.32
K-PLOČA	7.46	1.23	1.39
U-PLOČA	1.43	49.56	2.32
Th-PLOČA	1.43	1.70	123.10

(R.L.Grasty, 1987.)

Konstante za korekciju Komptonovog efekta, kod AGS ispitivanja, kao što je navedeno, izračunavamo iz podataka registrovanih iznad, specijalno konstruisanih kalibracionih betonskih ploča, sa poznatim sadržajem radioaktivnih elemenata (K, U i Th). Za tu svrhu neophodno je konstruisati minimum 4 kalibracione ploče, dimenzija, najmanje 8 x 8 x 0,5 m. od kojih jedna ploča ne sadrži radioaktivne elemente, a služi za određivanje osnovne radijacije.

Pošto je broj registrovanih impulsa, dobijen postavljanjem letilice sa spektrometrom, posledica poznatog sadržaja radioaktivnih elemenata u kalibracionim pločama i pošto je relacija linearna, moguće je izračunati konstante tipa : Δii i Sij primenom matrica. U tom slučaju, u mogućnosti smo da rešimo sistem od (9) linearnih jednačina sa (9) nepoznatih.

$$\begin{bmatrix} KCk \\ KCu \\ KCt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Kk & Uk & Tk \\ Ku & Uu & Tu \\ Kt & Ut & Tt \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Xkk \\ Xku \\ Xkt \end{bmatrix} \quad \text{..... (24)}$$

Ako označimo nekorigovan izmeren podatak gama zračenja iznad odgovarajućih kalibracionih ploča sa: KCk, KCu, KCt, UCk, UCu, UCt, TCk, TCu i TCt; sadržaj radioaktivnih elemenata u svakoj kalibracionoj ploči sa : Kk, Uk, Tk, Ku, Uu, Tu, Kt, Ut, Tt i osetljivost, u čijoj su funkciji izmereni podaci sa : Xkk , Xku , Xkt , Xuk , Xuu , Xut , Xtk , Xtu i Xtt,možemo formirati tri sistema matrica reda (3x3) i (3x1) sa ukupno (9) nepoznatih.

$$\begin{bmatrix} UCk \\ UCu \\ UCt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Kk & Uk & Tk \\ Ku & Uu & Tu \\ Kt & Ut & Tt \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Xuk \\ Xuu \\ Xut \end{bmatrix} \quad \text{..... (25)}$$

$$\begin{bmatrix} TCk \\ TCu \\ TCt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Kk & Uk & Tk \\ Ku & Uu & Tu \\ Kt & Ut & Tt \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Xtk \\ Xtu \\ Xtt \end{bmatrix} \quad \text{..... (26)}$$

Pošto je opšti oblik prikazanih matrica :

$$[\,\overline{A}\,] = [\,\overline{B}\,] * [\,\overline{X}\,] \quad \text{.....(27)}$$

sledi:

$$[\,\overline{X}\,] = [\,\overline{B}\,]^{-1} * [\,\overline{A}\,] \quad \text{.....(28)}$$

Iz formule (50) izračunavamo parametre : Xkk, Xku, Xkt, Xuk, Xuu, Xut, Xtk, Xtu i Xtt.

Koncentracija radioaktivnih elemenata (Kn, Un i Tn) u nekoj nepoznatoj sredini (n) izračunava se iz formule:

$$[\,\overline{B}\,] = [\,\overline{X}\,]^{-1} * [\,\overline{A}\,] \quad \text{..... (29)}$$

$$\begin{bmatrix} \\ \overline{X} \\ \\ \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} Xkk & Xku & Xkt \\ Xuk & Xuu & Xut \\ Xtk & Xtu & Xtt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta kk & \Delta ku & \Delta kt \\ \Delta uk & \Delta uu & \Delta ut \\ \Delta tk & \Delta tu & \Delta tt \end{bmatrix} \quad \text{..... (30)}$$

pri čemu je inverzna matrica (X) :
dok je matrica B jednaka :

$$[\,\overline{B}\,] = \begin{bmatrix} Kn \\ Un \\ Tn \end{bmatrix}$$

a matrica A jednaka :

$$[\,\overline{A}\,] = \begin{bmatrix} KCn \\ UCn \\ TCn \end{bmatrix}$$

Razvijanjem jednačine (29) u mogućnosti smo da izračunamo sadržaj radioaktivnih elemenata u ispitivanom tlu iz registrovanih podataka aerogamaspektrometrijskih ispitivanja po formulama :

$$Kn = \Delta ku * KCn + \Delta ku * UCn + \Delta kt * TCn \quad \text{.....(31)}$$
$$Un = \Delta uk * KCn + \Delta uu * UCn + \Delta ut * TCn \quad \text{.....(32)}$$
$$Tn = \Delta tk * KCn + \Delta tu * UCn + \Delta tt * TCn \quad \text{.....(33)}$$

Ako izvučemo Δkk, Δuu i Δtt ispred zagrade dobićemo sledeći oblik jednačina (31) , (32) i (33):

$$Kn = \Delta kk\,(KCn + \frac{\Delta ku}{\Delta kk} * UCn + \frac{\Delta kt}{\Delta kk} * TCn) \quad \text{.....(34)}$$

$$Un = \Delta uu\,(UCn + \frac{\Delta ut}{\Delta uu} * TCn + \frac{\Delta ut}{\Delta uu} * KCn) \quad \text{.....(35)}$$

$$Tn = \Delta tt\,(TCn + \frac{\Delta tu}{\Delta tt} * UCn + \frac{\Delta tk}{\Delta tt} * KCn) \quad \text{.....(36)}$$

Konstante Δkk , Δuu i Δtt su nazvane konstantama osetljivosti dok su takozvani koeficijenti "čišćenja" izraženi sledećim količnicima :

$Sku = \frac{\Delta ku}{\Delta kk}$ uticaj urana na kalijum $\qquad Suk = \frac{\Delta uk}{\Delta uu}$ uticaj kalijuma na uran

$Skt = \frac{\Delta kt}{\Delta kk}$ uticaj torijuma na kalijum $\qquad Stu = \frac{\Delta tu}{\Delta tt}$ uticaj urana na torijum

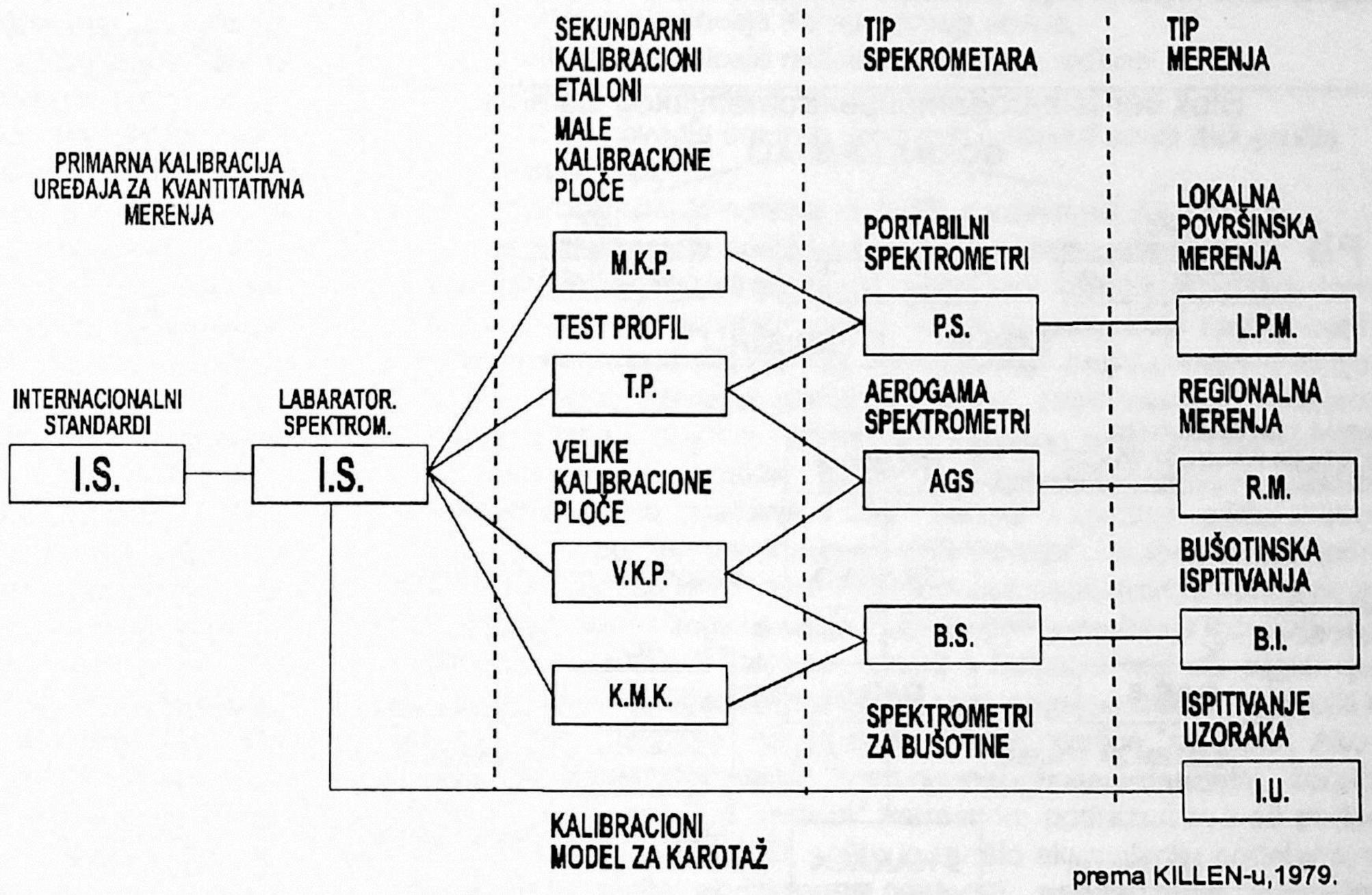
$Sut = \frac{\Delta ut}{\Delta uu}$ uticaj torijuma na uran $\qquad Stk = \frac{\Delta tk}{\Delta tt}$ uticaj kaljuma na torijum ..... (37)

JEDNAČINE (34)-(36) SU OSNOVNE JEDNAČINE KOJE SE PRIMENJUJU U PROCESU OBRADE PODATAKA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA.

11.1. Standardizacija kalibracionih etalona

Standardizacija kalibracionih etalona, pre svega, zavisi od nekog poznatog PRIMARNOG STANDARDA. Sekundarni kalibracioni standardi formiraju se korišćenjem primarnog standarda. Veza između pomenutih standarda prikazana je na slici 23 (Killen P.G.,1979.).

Blok šema standardizacije kalibracionih etalona



prema KILLEN-u,1979.

Slika 23

Uočavamo da od vrste ispitivanja i tipa spektrometra zavisi i koji će se sekundarni kalibracioni etaloni koristiti. Jasno je, a sa slike 23 se vidi, da sva kalibraciona merenja zavise od ispitivanja laboratorijskim gama spektrometrima različitih radioaktivnih standarda i uzoraka materijala od kojih su konstruisani sekundarni kalibracioni etaloni.

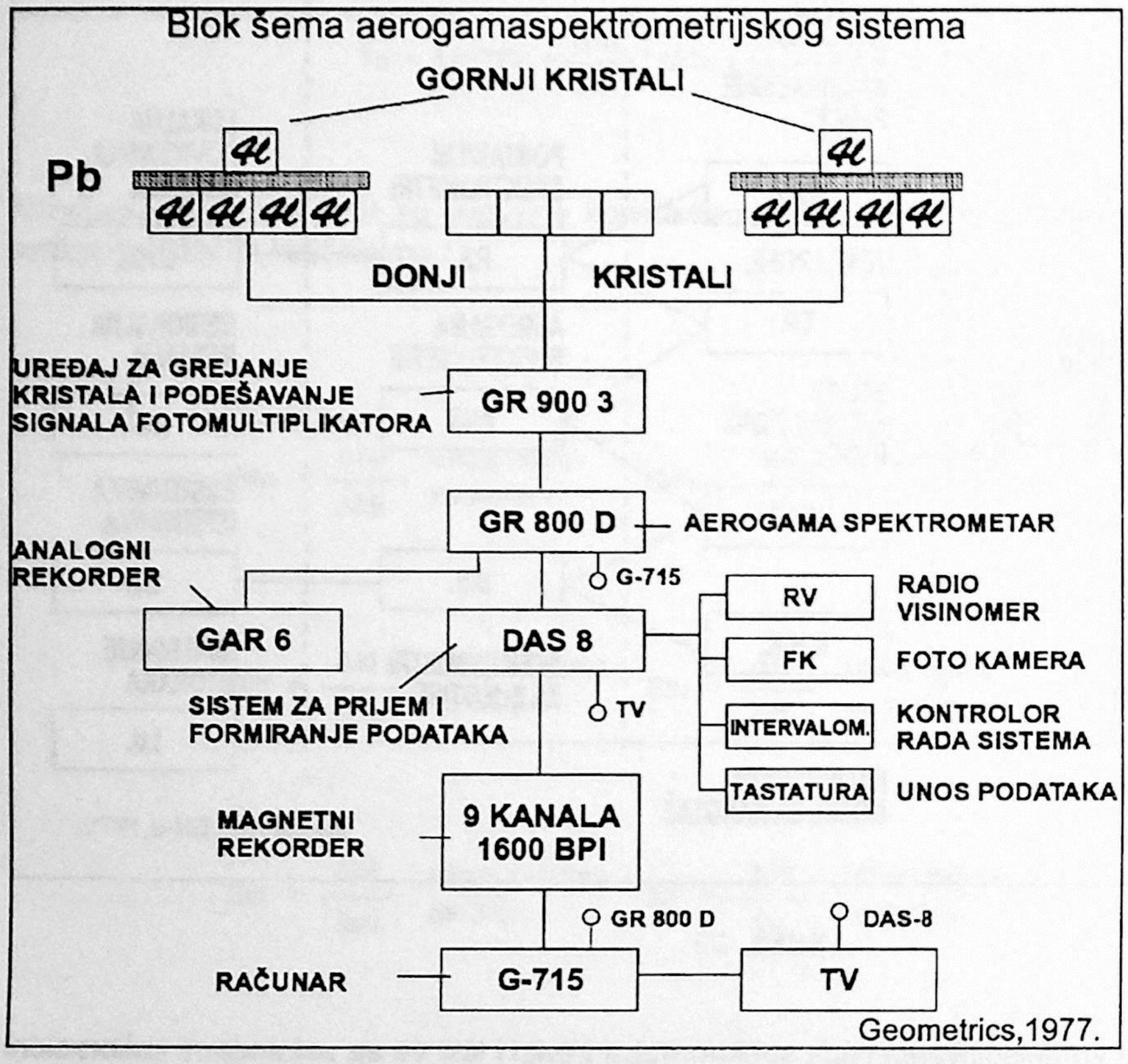
Kalibracija aerogamaspektrometara zahteva, pored korišćenja sekundarnih kalibracionih etalona, i korišćenje test profila. Analiza uzoraka uzetih duž test profila mora biti izvršena laboratorijskim spektrometrom koji omogućava visoku tačnost određivanja sadržaja K , U i Th u tlu.

Vrlo je značajno kada i koliko često treba vršiti kalibraciju. Ako je instrument jednom kalibrisan to ne znači da je to urađeno za sva vremena, pošto se karakteristike sistema mogu menjati sa vremenom. Važno je da korisnik ima informaciju o normalnim vrednostima kalibracionih konstanti za dati sistem. Ponavljanjem kalibracije mi, pre svega, proveravamo rad sistema i njegove karakteristike. Stalna provera rada instrumenata neophodna je u toku terenskih ipitivanja. Ona se sprovodi odabiranjem jednog kontrolnog profila iznad kojeg se svakodnevno, pre i posle terenskih radova, proverava ispravnost rada celog sistema.

12.0. PRIJEM, ANALIZA I REGISTROVANJE PODATAKA

Merenja spektra gama zračenja iz vazduha su veoma kompleksna. Pored podataka analize energija i intenziteta gama zračenja, neophodno je registrovati i dug niz drugih podataka koji su u službi korektne obrade, analize i njihovog adekvatnog prezentiranja. Zbog toga je neophodno registrovati relativnu visinu leta aviona, brojeve kontrolnih tačaka foto-snimaka, podatke navigacije, temperature, atmosferskog pritiska, redne brojeve profila ispitivanja, naziv terena, datum itd.

Veliki broj numeričkih i alfanumeričkih vrednosti, reda veličine više stotina karaktera u sekundi, registruje se u digitalnom obliku, digitalnim magnetnim rekorderom ili odgovarajućim uređajima sa mogućnošću registrovanja podataka na tvrdom disku ili disketama.

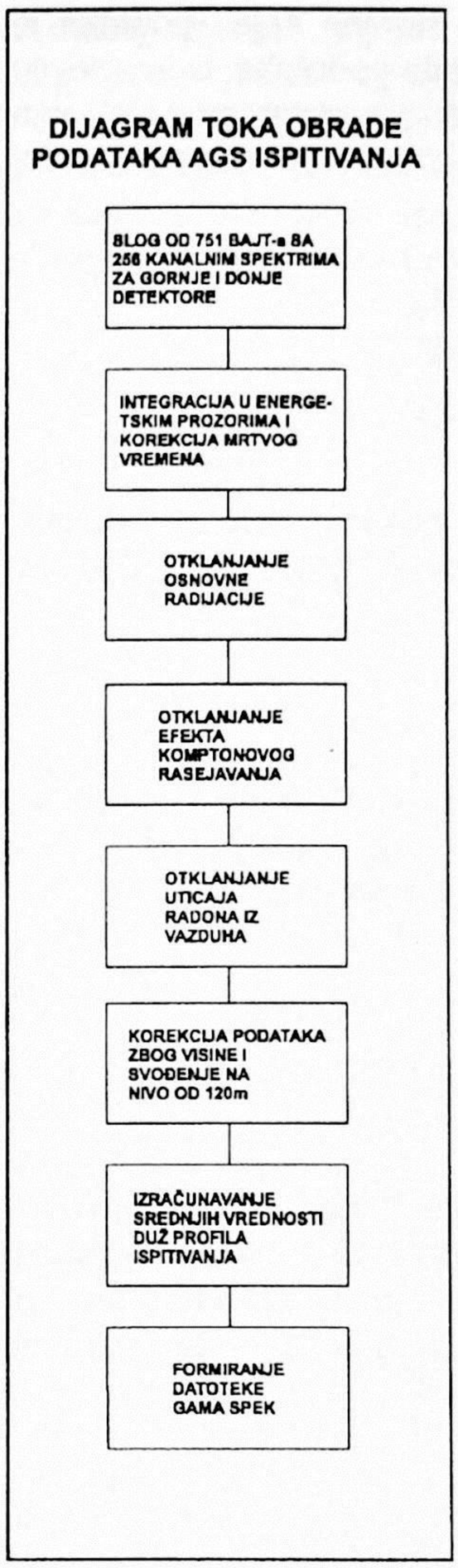


Slika 24

Na slici 24. prikazana je blok šema tipičnog, modernog,aerogamaspektrometrijskog sistema. Mnogo godina kod nas su za digitalni upis korišćeni su sedmo-kanalni rekorderi sa gustinom upisa od 200-BPI, što je onemogućavalo registrovanje celog spektra prirodnog gama zračenja pa smo bili u mogućnosti da registrujemo samo podatke analizirane u tzv. "prozorima" kalijuma, urana i torijuma koji su pomenuti i objašnjeni u prethodnom delu teksta. To ograničenje je imalo za posledicu nemogućnost određivanja energije gama zračenja pojedinačnih uzročnika jer je bio dostupan samo podatak koji je predstavljao zbir registrovanih impulsa unutar opisanih energetskih intervala - "prozora". Tek polovinom sedamdesetih godina nastupa, može se reći, revolucionaran preokret zahvaljujući napretku elektronike. Naime, od tada se koristi nova generacija magnetskih rekordera sa upisom na 9 kanala i gustinom od 800 i 1600 BPI, koji nam omogućavaju registrovnje spektra gama zračenja u 256 "kanala". Ovaj način upisa kompatibilan je sa 16 bitnim i 32 bitnim kompjuterskim sistemima koji omogućavaju kompleksnu obradu podataka.

Centralna jedinica svakog aerogamaspektrometrijskog sistema je takozvani AKVIZICIONI sistem. Na slici 24 prikazan je DAS8 (Data Acquisition System) koji se koristi kod nas, a koji prihvata informacije sa svih mernih uređaja, formatira ih i u digitalnom obliku šalje 9-kanalnom magnetnom rekorderu, na video ekran ili na neki drugi medijum za praćenje i registrovanje podataka.

13.0. OBRADA PODATAKA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA



U cilju korišćenja podataka aerogamaspektrometrijskih ispitivanja, u procesu KVALITATIVNE i KVANTITATIVNE analize i interpretacije neophodno je prethodno, po proceduri prikazanoj na slici 25, izvršiti obradu podataka, koja se sastoji iz sledećih osam glavnih koraka:

-integracija u energetskim prozorima i normalizacija na vremenski interval od jedne sekunde,
-otklanjanje osnovne radijacije,
-otklanjanje uticaja Komptonovog efekta,
-otklanjanje uticaja radioaktivnog gasa radona ,
-svođenje podataka na nivo 120 m iznad tla,
-izračunavanje srednjih vrednosti radioaktivnosti duž profila ispitivanja,
-izračunavanje odnosa različitih parametara i
-izračunavanje sadržaja K, U i Th u tlu.

Ulazni podaci su registrovani na magnetnoj traci u digitalnoj formi i papirnoj lenti u analognom obliku. Na magnetnoj traci registrovani su sledeći podaci: broj profila, broj foto snimka, broj kontrolnog brojača, datum, vreme, intenzitet gama zračenja registrovan u "prozorima" kalijuma, urana i torijuma i "prozoru" ukupnog gama zračenja, zatim visina leta aviona, spektar gama zračenja registrovan u "gornjim" detektorima gama zračenja u 256 " kanala" i spektar gama zračenja registrovan u "donjim" detektorima u 256 "kanala". Ukupna dužina jednog registrovanog sloga je 751 bajt. Neki aerogamaspektrometri programirani su da u toku akumulacije i analize energija gama zračenja izdvajaju samo podatke za "prozore" kalijuma, urana i torijuma koji se registruju u digitalnom obliku. Moguće je, takođe, iz spektra gama zračenja izdvojiti iste podatke, pod uslovom da se znaju tačne granice "prozora". Ako se operiše sa spektrom gama zračenja neophodno je uraditi korekciju "mrtvog" vremena. Pod "mrtvim" vremenom podrazumeva se period u kojem instrument GR-800D, pošto je izvršio akumulaciju podataka, vrši transfer informacija akvizicionom sistemu, a ovaj dalje magnetnom rekorderu. "Mrtvo" vreme u našem slučaju traje 8 mikro sekundi.

Slika 25

13.1. Otklanjanje osnovne radijacije

U Jugoslaviji, veličina osnovne radijacije određuje se eksperimentalnim letenjem iznad DUNAVA, na visini od 20 - 50m, po sredini njegovog toka, na najširem delu reke. To je postupak koji je do sada u praksi proveravan u toku više godina i koji je dao zadovoljavajuće rezultate.

Osnovna radijacija aviona, instrumenata u avionu i kosmičkog zračenja određivana je na taj način što je registrovan spektar gama zračenja iznad Dunava kod Padinske Skele na dužini profila od 2km. Zatim je izračunata srednja vrednost intenziteta gama zračenja za svaki registrovan kanal. Tako određene veličine oduzete su od vrednosti izmerenim u odgovarajućim kanalima spektara registrovanih u toku realizacije terenskih ispitivanja u TMK.

13.2. Otklanjanje uticaja "Komptonovog" efekta

Uticaj Komptonovog efekta rasejavanja energija gama zraka na merene AGS podatke je značajan i neizbežan zbog čega je neophodno otkloniti ga u procesu obrade podataka. U poglavlju 11.0. obrađen je postupak izračunavanja konstanti tipa (Sij) koje su nazvane konstantama filtriranja (korigovanja) merenih podataka. One u suštini predstavljaju konstante kojima se otklanja uticaj Komptonovog efekta po sledećim formulama :

$$Rks = /Rk - ORk/ - Sku * Ru - Skt * Rt \quad .....(38)$$

$$Rus = /Ru - ORu/ - Sut * Rt - Suk * Rk \quad .....(39)$$

$$Rts = /Rt - ORt/ - Stu * Ru - Stk * Rk \quad .....(40)$$

Veličine (Rk, Ru i Rt) su izmereni podaci, registrovani u "prozorima" kalijuma, urana i torijuma. Veličine (Rks, Rus i Rts) su korigovani podaci za uticaj Komptonovog efekta, a (ORk, ORu i ORt) su osnovne radijacije. Koeficijenti (Sij) su konstante iz formula (37).

13.3. Otklanjanje uticaja radioaktivnog gasa radona

Jedan od najvećih problema pri primeni metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja predstavlja određivanje veličine uticaja radioaktivnog gasa radona na merene podatke.

Uticaj gama zračenja radona na veličinu merenog podatka otklanja se po formuli:

$$Bi = \frac{/ R_g - OR_{Bivaz.} / - I / R_{us.} + C'_{uk.} / C'_{uu.} * R_{ks.} * C'_{ut.} / C'_{uu.} * R_{ts.}}{m - I} \quad ..... (41)$$

U formuli 41 (Rg) je registrovano gama zračenje u uranskom "prozoru" takozvanih "gornjih" kristala, a Cuk, Cuu, Cut, I i m su parametri sračunati za aktuelan sistem detektora. Uticaj radona je neophodno otkloniti zbog toga, što je njegov period poluraspadanja 3,8 dana. Najveće prisustvo radona je za vreme naglih promena vazdušnog pritiska. Radioaktivni gas torijumskog niza, TORON, koji ima period poluraspadanja 54 sekunde, nema uticaja na merene AGS podatke.

13.4. Korekcija podataka zbog visine ispitivanja

Intenzitet radioaktivnog zračenja eksponencijalno opada sa povećanjem visine merenja. ›g toga je neophodno registrovane podatke ispitivanja, merene na različitim visinama, dovesti na ednički nivo. Tek u tom slučaju podaci su uporedivi i mogu se koristiti za donošenje relevantnih ključaka. Mereni, odnosno korigovani, podaci dovode se na isti nivo merenja matematičkim aratom. Na taj način izračunavaju se vrednosti intenziteta gama zračenja za svaku merenu tačku i određujemo njenu veličinu, onakvu kakva bi bila da je avion u trenutku merenja intenziteta gama zračenja bio na izabranoj visini, odnosno visini svođenja podataka. Formule po kojima se vrši korekcija podataka su :

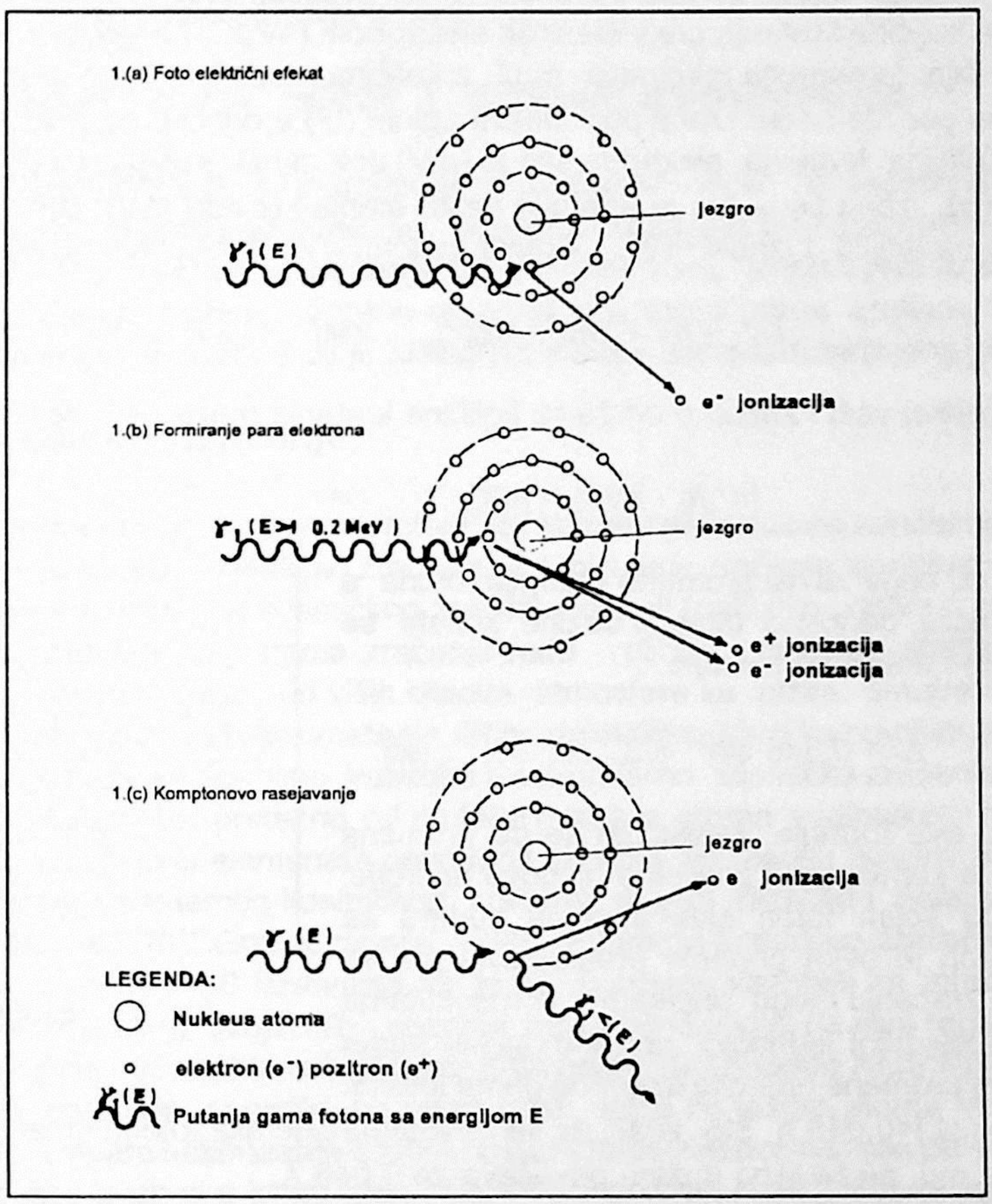
$N_{120} = Rxs * F$ .....(42) i $F = e^{\mu(H-Ho)}$ .....(43) pri čemu je:

N_{120} - korigovan podatak na visinu 120 m iznad površine terena, μ - koeficijent apsorpcije gama zračenja u vazduhu, H - merena visina leta aviona preračunata u metre i H_o- visina svođenja podataka (120 m). Koeficijent apsorpcije gama zračenja u vazduhu određuje se merenjem gama zračenja duž test profila na različitam visinama od 50-300 m.

14.0. MEĐUSOBNI UTICAJ GAMA ZRAČENJA I MATERIJE

U oblasti energija, koje se ispituju u svrhu geoloških i ekoloških istraživanja, zastupljena su uglavnom tri procesa uzajamnog dejstva gama zračenja i materije na koju oni nailaze, a to su :

a) FOTOELEKTRIČNI EFEKT koji je ustvari proces pri kojem foton predaje celokupnu svoju energiju vezanom elektronu (slika 26). Deo te energije troši se za raskidanje veze elektrona sa atomom, a ostatak se pretvara u kinetičku energiju elektrona. Ovaj efekat preovlađuje na niskim energijama i pri velikim atomskim težinama (Z) apsorbera.



Slika 26

b) STVARANJE PAROVA elektron-pozitron je proces u kojem foton u polju jezgra ili elektrona isčezava, a stvara se par elektron-pozitron čija je ukupna kinetička energija jednaka energiji fotona umanjenoj za energiju koja odgovara masi dve stvorene čestice. Ovaj proces može da nastane samo u tom slučaju kada je energija gama kvanta ravna ili veća od 1,02 MeV.

c) KOMPTONOVO RASEJAVANJE je proces pri kojem dolazi do skretanja gama fotona pri sudaru sa atomskim elektronima.Kod niskih energija to rasejavanje je koherentno i energija gama fotona se ne menja. Na energijama koje vrlo malo premašuju energiju veze elektrona, rasejavanje je nekoherentno i jedan deo energije gama fotona znatno premaši energiju veze elektrona. Tad se fotoni rasejavaju isto kao kada bi elektroni bili slobodni i nepokretni. U tom slučaju radi se o tzv. Komptonovom efektu.

14.1. Komptonov efekt

Američki fizičar Artur Holi Kompton (1892-1962), je 1923. godine proučio i teorijski objasnio pojavu da pri nailasku Rentgenovih zraka na materiju dolazi do njihovog rasipanja i povećanja talasne dužine. On je proučavao snop (X) -zraka koji prolazi kroz foliju nekog metala pri čemu je uočio pojavu da posle prolaska kroz foliju deo (X) -zraka smanjuje svoju energiju.

Ovu pojavu Kompton je objasnio kao posledicu sudara dve čestice. Odnosno, pripisao je elektromagnetnom zračenju i korpuskularna svojstva. U tom slučaju, ta korpuskula, nazvana foton, ima energiju i količinu kretanja. Pošto se fotoni kreću brzinom svetlosti količina kretanja fotona je P=hV/C. Ako se foton, čija je količina kretanja pre sudara sa elektronom (hV_o/C) i energija sudara sa elektronom koji miruje (hV_o), a čija je energija mirovanja m_oc^2, a količina kretanja brojno jednaka nuli, sudari sa elektronom elektron počinje da se kreće pod nekim uglom (Ψ) u odnosu na prvobitni pravac kretanja fotona(slika 27) Količina kretanja elektrona sad je (mV) dok mu je energija (mc^2). Foton se rasejava pod nekim uglom (φ), zbog čega mu je energija nešto manja i iz nosi (hV). Brojna vrednost količine kretanja takođe se smanjila i iznosi (hV/c). Prema zakonu o održanju energije sledi:

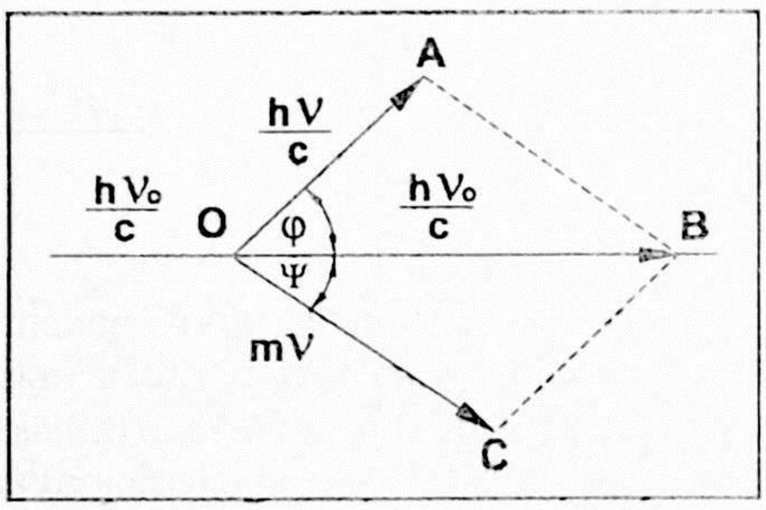
$$hV_o - hV = mc^2 - m_oc^2 \text{.. .....(44)}$$

pošto za pojavu važi i zakon o održanju količine kretanja može se napisati:

$$hV_o/c - hV/c = mV \text{.....(45)}$$

Da bi se pokazalo od čega zavisi promena energije fotona a samim tim i frekvencije, odnosno talasne dužine, koriste se jednačine (18) i (19) i dobija se formula: .

$$\Delta\lambda = 0{,}048 \sin^2 \varphi/2 \text{.....(46)}$$



Slika 27

Na osnovu ove formule, zaključuje se da promena frekvencije fotona, a samim tim i promena njegove energije, zavisi od ugla pod kojim foton skreće posle sudara sa elektronom. Kompton je ovim potvrdio pretpostavku da se elektromagnetnom zračenju mogu pripisati i korpuskularna svojstva. Prema poslednjoj jednačini za (φ)=0 ($\Delta\lambda$)=0 nema rasejavanja nema ni promene energije upadnog gama fotona. Za (φ)=π imamao ($\Delta\lambda$)=0,048 Å, što znači da se prvobitna energija fotona smanjila posle sudara sa elektronom tako da mu se talasna dužina povećava za 0,048 Å.

Šta se fizički događa? Gama zraci koji su pretrpeli sudar sa nekim elektronom materije kroz koju prolazi menja frekvenciju, a tim i gubi deo svoje energije. To znači da deo gama fotona koji su emitovani, na primer, iz uranskog izvora posle Komptonovog efekta mogu biti registrovani u nižim kanalima spektra prirodnog gama zračenja pa i u "prozoru" kalijuma. To dalje znači da određivanje sadržaja kalijuma u tlu može biti pogrešno ako se ne otklone podaci gama zračenja registrovani u "prozoru" kalijuma koji potiču od uranskog radioaktivnog gama emitera, a koji su se pod uticajem Komptonovog efekta našli u "prozoru" kalijuma. Opisan princip važi za sve izvore prirodnog, pa i veštačkog gama zračenja u okviru analize spektra prirodnog gama zračenja. Zbog toga je neophodno matematičkim putem otkloniti onu količinu podataka gama zračenja koja ne potiče od stvarnog izvora čija je energija gama zračenja planirana da bude registrovana u tačno određenom kanalu, odnosno "prozoru", 256 kanalnog gamaspektrometra. Otklanjanje Komptonovog efekta vrši se pri obradi podataka prirodnog gama zračenja primenom takozvanih koeficijenata "korekcije" koji se određuju kalibracijom sistema.

15.0. OSNOVNA RADIJACIJA

Prilikom primene AGS ispitivanja javlja se više različitih izvora gama zračenja čiji se uticaji superponuju na podatke intenziteta gama zračenja koje dolazi se površine tla. Takvi uticaji mogu imati prirodno ili veštačko poreklo. Zbog toga, svaki od uticaja treba jasno definisati i otkloniti iz merenog podatka u kvalitativnom ili kvantitativnom vidu. Ti uticaji definisani su kao:

-radioaktivnost instrumenata letilice (aviona i/ili helikoptera) i uređaja ugrađenih u njih.
-kosmičko zračenje,
-radioaktivnost radioaktivnog gasa iz vazduha.

15.1. Radioaktivnost letilca i njihovih instrumenata

Smatra se konstantnom i predstavlja sistematski uticaj na registrovan podatak AGS ispitivanja. Ipak njegova veličina se određuje posebnim postupkom - kontrolnim letom iznad veće vodene površine kada se meri gama zračenje koje emituje sam avion zatim kosmičko zračenje i radioaktivno gama zračenje radona, odnosno njegovih potomaka gama emitera, koji se nalazi oko letilice u trenutku merenja. Smatra se da je jedino promenljiv uticaj radioaktivnog gasa.

15.2. Kosmičko zračenje

Ovo zračenje sačinjavaju materija i fotoni koji su dospeli iz dubina sunčevog sistema, od kojih neki potiču iz drugih galaksija. Kosmičko zračenje je jonizujuće zračenje identično onom koje emituju radioaktivne supstancije. Intenzitet kosmičkog zračenja je mali (nekoliko pojava u sekundi) sa izrazito velikim energijama radioaktivnog gama zračenja reda veličine i milijarda elektron volti. Karakter kosmičkog zračenja menja se idući od viših slojeva atmosfere ka nižim. Smatra se da iznad visine od 25 km dominira primarno kosmičko zračenje ili tzv. galaktičko. Idući ka površini zemlje ovo zračenje se transformiše u sudarima sa atomima vazduha u sekundarno kosmičko zračenje. Fluks primarnog kosmičkog zračenja sastoji se pretežno od protona (jezgara atoma vodionika), 77.5%; alfa čestica (jona helijuma) 20% i težih jona elemenata periodnog sistema sa rednim brojem većim od 45 kojih ima oko 2,5%. Energije primarnog kosmičkog zračenja su vrlo različite i nalaze se u rasponu od nekoliko stotina MeV do 10^{11} GeV (Draganić,1990). Primarno kosmičko zračenje nema direktnog značaja za primenu metode AGS ispitivanja ali je od ogromne važnosti za praćenje sekundarnog kosmičkog zračenja koje zbog svojih nižih energija može bitno uticati na nivo registrovanih podataka pri ispitivanjima prirodne i veštačke radioaktivnosti tla primenom metode AGS ispitivanja.

Kad proton ogromne energije na svom putu naiđe na jezgro atoma atmosfere on izaziva dezintegraciju jezgra i stvara sekundarne čestice. Sekundarne čestice nastale pri toj koliziji nisu samo jedne vrste, pa čak nisu uvek ni u istom broju. Glavni produkti tih prvih raspada su protoni, neutroni, alfa čestice i gama zraci. Energije gama zraka koji nastaju mogu biti registrovane u intervalu od 0 - 3000 KeV zbog čega ih AGS sistem registruje kao odbijene zrake u detektoru gama zračenja.

Utvrđeno je da je u jednom relativno kratkom vremenskom intervalu od nekoliko meseci, za koje se vreme obično obave AGS ispitivanja u toku jedne terenske sezone, kosmičko zračenje konstantno. Ipak i pored te činjenice, preporučljivo je više puta određivati veličinu kosmičkog zračenja u toku jedne terenske sezone.

Postupak određivanja veličine uticaja kosmičkog zračenja svodi se na istovremeno određivanje tzv. osnovne radijacije aviona i kosmičkog zračenja letom letilice iznad velike vodene površine mora ili okeana na udaljenju od minimum 20 km od obale. Ako to nije moguće realizovati koristi se let iznad veće vodene površine reke ili jezera. Drugi način, manje efikasan, je let aviona na visini od oko 700m iznad površine terena. Za tu visinu smatra se da gama zračenje sa tla ne dopire do detektora gama zračenja, pa su registrovana zračenja posledica pomenute tri vrste izvora (aviona, kosmičkog zračenja i radioaktivnog gasa iz vazduha).

15.3 Radioaktivno zračenje radona

Radioaktivno zračenje radona iz vazduha je promenljiva veličina koju registruju instrumenti pri realizaciji AGS ispitivanja koju treba otkloniti u procesu obrada podataka.

U sva tri radioaktivna niza postoji radioaktivno raspadanje sa račvanjem kod elementa koji je potomak radioaktivnog raspada izotopa radona tjs. kod Po-218, Po-216 i Po-215. Dalje u sva tri niza javljaju se gasoviti produkti - izotopi: radon (Rn-222)-niz U-238, toron (Rn-220)-niz Th-232 i aktinon (Rn-219)-niz U-235 (TABELA XI) koji se lako mogu izdvojiti od svojih roditelja, koji imaju znatno duža vremena poluraspada. Iz tih gasovitih produkata, ili kako su nekad nazivani emanacija, nastaju radioaktivnim raspadanjem elementi koji imaju znatno kraća vremena poluraspadanja od elemenata koji su u istom radioaktivnom nizu ispred radona. Potomci izotopa radona u sva tri niza grade takozvane AKTIVNE TALOGE, koji koji su u daljem procesu raspadanja prelaze u gama radioaktivne izotope čije energije merimo u procesu AGS ispitivanja. Ovi aktivni talozi kontaminiraju površine na kojima se talože, što donosi teškoće pri određivanju količine prirodnih radioaktivnih elemenata u tlu.

TABELA XI

Gasoviti produkti radioaktivnih nizova			
IZOTOP	POLUŽIVOT	GLAVNA RADIJACIJA	GAMA ENERGETSKI PIK
NIZ URANA-238			
Rn-222	**3.82 d**	**alfa**	
Po-218	3.05 min	alfa	
Pb-214	26.80 min	beta. gama	0.29 0.35
Bl-214	19.80 min	beta, gama	0,61 1,12 1,76
NIZ TORIJUMA-232			
Rn-220	**55,3 s**	**alfa**	
Po-216	0,15 s	alfa	
Pb-212	10,64 h	beta, gama	0,24
Bi-212	60,6 min	beta, gama	0,73
Po-212	3×10^7	alfa	
Tl-208	31.00 min	beta, gama	0,51 0,58 2,62
NIZ URANA-235			
Rn-219	**3,92 s**	**alfa, gama**	**0,27 0,40**
Po-215	$1{,}8 \times 10^{-3}$s	alfa, beta	
Pb-211	36 min	beta, gama	0,065-0,83
Bi-211	2,10 min	beta	
Tl-207	4,80 min	beta, gama	0,89

Ako proučimo tabelu doći ćemo do zaključka da je sa stanovišta primene metode AGS ispitivanja od najvećeg značaja radioaktivni gas radon-222, čiji je period poluraspada 3,82 dana, koji u svom sukcesivnom raspadu **prelazi u čvrste čestice izotopa bizmuta-214**, koji pri svom daljem raspadu emituje, pored beta čestica, gama zrake različitih energija od kojih je najznačajnija energetska linija na 1.76 Mev. Taj fenomen se koristi kao indirektna indikacija prisustva radona i direktna indikacija prisustva potomaka Rn-222 u vazduhu u toku ispitivanja gama zračenja koje je emitovano sa površine terena.

Pošto je Rn-222 lakši od vazduha on sa promenom atmosferskog pritiska, najčešće padom pritiska, obilnije emanira zbog čega ga i ima više u vazduhu, a samim tim i njegovih potomaka koji emituju gama zračenje koje kao stalni manji ili veći uticaj javljaju u okviru registrovanih podataka zračenja litosfere. Zbog opisanih osobina neophodno je korigovati podatke AGS ispitivanja. Postupak korekcije razrađen je u firmi "Geometriks", a primenjen pri realizaciji krucijalnog opita iznad TMK 1990. godine u okviru programa "Gama".

16.0. ANALIZA PODATAKA AGS ISPITIVANJA

16.1. Pridruživanje koordinata svakoj merenoj tački

Postupak obrade registrovanih podataka, koji se u celosti realizuje programom "GAMA", a čiji je rezultat datoteka koju smo nazvali BAZNA, predstavlja jednu zasebnu celinu čiji rezultati bi, u principu, mogli da se koriste u procesu KVALITATIVNE interpretacije.

Samo ovakav način korišćenja podataka nema, u današnje vreme, potpunog stručnog opravdanja, jer interpretator nema dovoljan broj parametara, pomoću kojih bi mogao da donosi relevantne zaključke. Zbog toga je neophodno uraditi STATISTIČKU ANALIZU podataka i rezultate prikazati na tabelama, dijagramima i kartama. Izrada karata različitih parametara radioaktivnog gama zračenja i njihovih odnosa takođe nas približava cilju svakog interpretatora - egzaktnoj interpretaciji.

Da bi postavljen cilj dostigli, neophodno je, pre svega, izračunati pravougle koordinte za svaku izmerenu tačku. One mogu biti **LOKALNE i GAUS-KRIGEROVE.** To se postiže tako što koordinate svake vezne tačke, odnosno, fotosnimka, koje su označene na topografskoj karti, a rekonstruisane na bazi fotomozaika, terenskih topografskih karata, i foto snimaka, očitamo ručno ili instrumentalno - digitalizatorom.

Primenom datoteka digitalizovanih koordinata veznih tačaka, BAZNE datoteke i kompjuterskog programa za izračunavanje koordinata svih merenih tačaka, nazvanog **"BAZNADIG"** formira se nova datoteka podataka kojoj su pridružene pravougle koordinate, izračunate za svaku izmerenu tačku. Novoformirana datoteka ima oblik tabele prikazane u prilogu programa"BAZNADIG". U jednom slogu datoteke "BAZNADIG" nalaze se sledeći podaci: brojevi veznih tačaka (FS1) i (FS2), broj profila (PR), koordinate (x,y), podaci intenziteta gama zračenja registrovani u "prozorima" kalijuma, urana, torijuma i ukupnog gama zračenja kao i njihovih odnosa U/Th, U/K, Th/K i, na kraju, izračunata visina letilice (H) za trenutak u kojem su podaci registrovani.

16.2. Određivanje karaktera distribucije radioaktivnog gama zračenja

Pre pristupanja statističkoj analizi datoteka izdvojenih za različite geološke sredine, neophodno je odrediti karakter distribucije intenziteta radioaktivnog gama zračenja svakog parametra.

Veliki broj ispitivanja distribucije kalijuma, urana i torijuma u tlu doveo je istraživače do zaključka da se u prirodi radioaktivni elementi javljaju isključivo u vidu **NORMALNE I LOGNORMALNE DISTRIBUCIJE.** Obrađivačima danas stoji na raspolaganju veliki broj sistemskih programa za određivanje vrste distribucije.

Moguće je, takođe, i vizuelno određivanje distribucije posebno pri aerogamaspektrometrijskim ispitivanjima jer se operiše sa velikim brojem podataka, reda veličine nekoliko hiljada pa i stotina hiljada merenih tačaka, a to je broj koji nam omogućava jasno formiranje odgovarajućeg tipa distribucije, kao što je prikazano na primerima (slike 28 i 29).

U cilju formiranja kompleksnog metodskog postupka analize obrađenih podataka urađen je računski program za određivanje distribucije intenziteta gama zračenja različitih parametara pod nazivom **"HISTOGRAM"** (lit 38).

Rezultat rada programa "HISTOGRAM" je grafički prikaz distribucije svakog ispitivanog parametra.

16.3. Statistička analiza podtaka

Metoda aerogamaspektrometrijskih ispitivanja najčešće se koristi pri regionalnim istraživanjima velikih površina, reda veličine nekoliko stotina do nekoliko hiljada kvadratnih kilometara, sa ciljem izdvajanja granica metalogenetskih provincija i, u okviru njih, određivanja užih prostora obogaćenih prirodno radioaktivnim elementima. Tako se, na direktan ili indirektan način, otkrivaju i ležišta metaličnih mineralnih sirovina kao što su : U, Cu, Pb-Zn, Al, Mo, Au, Ag, Sn.

Na ispitivanim površinama postoji, najčešće, veliki broj genetski i po sastavu različitih stena. Zbog

toga je neophodno izdvojiti merene podatke iznad pojedinačnih geoloških formacija iz svih merenih podataka. Ovaj postupak je jedino moguće uraditi korišćenjem koordinata svake merene tačke.

U principu postoje dva načina izdvajanja podataka za pojedinačne geološke sredine:

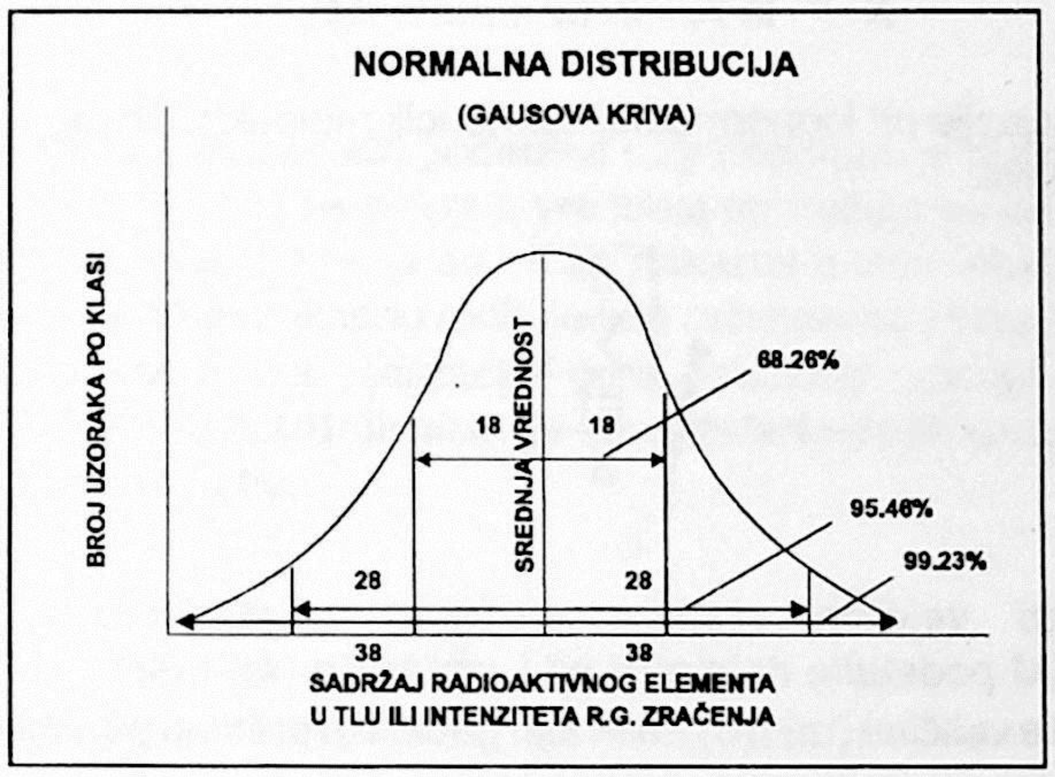
-**prv**i način zahteva kompletnu digitalizaciju geoloških granica geološke sredine za koju želimo da izdvojimo merene podatke i računski program koji će ispitivati koordinate svake merene tačke i izdvajati samo one tačke koje se nalaze unutar digitalizovanih granica.Ovakav način izdvajanja podataka je elegantniji, ali zahteva mnogo rada računara i nije isplatv.

-**drug**i način izdvajanja merenih podataka koristi već postojeće profile ispitivanja, duž kojih se digitalizuju geološke granice svake sredine koju preseca profil, a izdvajaju se podaci unutar geoloških granica. Izdvajanje podataka je veoma brzo i ono se obavlja po redosledu merenja po profilima.

Podaci se izdvajaju iz datoteke "BAZNADIG". Program za formiranje datoteka za statističku analizu nosi ime **"STATISTIK"** (lit 38).

16.4. Izračunavanje statističkih veličina

Iskustvo je pokazalo da u skoro 99% slučajeva distribucija radioaktivnih elemenata u tlu ima karakter **NORMALNE DISTRIBUCIJE** (slika 28) **ILI LOGNORMALNE DISTRIBUCIJE** (slika 29).



Slika 28

Iz teorije statistike znamo da se izračunavanje statističkih veličina ove dve distribucije ne može raditi na isti način, odnosno neophodno je LOGNORMALNU distribuciju obrađivati u logaritamskom domenu.

Na drugi način kazano: distribucija prirodnih logaritama merenih vrednosti neke veličine, koje se javljaju po zakonitosti lognormalne distribucije ima karakter normalne distribucije. Zbog toga, u jednačinama za izračunavanje srednjih vrednosti (m) i standardnih devijacija(σ) za lognormalnu distribuciju figurišu prirodne vrednosti logaritama merenih veličina. Srednja vrednost, pri normalnoj distribuciji radioaktivnih minerala u tlu, za pojedinačnu geološku sredinu biće

$$m = \sum_{i=1}^{N} \frac{U_i}{N} \quad \text{..... (47)}$$

gde je (U_i) merena vrednost radioaktivnosti, a (N) broj merenih tačaka.

Standardna devijacija pri normalnoj distribuciji radioaktivnih minerala u tlu za pojedinačne geološke sredine biće izračunata po formuli:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{X_2}{N}} \quad \text{..... (48)}$$

gde je ($X=U_i-m$) devijacija merene vrednosti od srednje vrednosti.

Srednja vrednost pri lognormalnoj distribuciji radioaktivnih minerala u tlu, za pojedinačnu geološku sredinu, izračunava se po formuli:

$$\ln m = \frac{\sum_{i=1}^{N} \ln U_i}{N} \quad \text{..... (49)}$$

$$X = \ln X_i - \ln m \quad \text{..... (50)}$$

Logaritam standardne devijacije pri lognormalnoj distribuciji radioaktivnih minerala u tlu, za pojedinačnu geološku sredinu izračunava
se po formuli:

$$\ln \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} x^2}{N}} \quad \text{..... (51)}$$

Stvarne vrednosti veličina srednje vrednosti i standardne devijacije dobijaju se ANTILOGARITMOVANJEM podataka dobijenih po formulama (49) i (51).

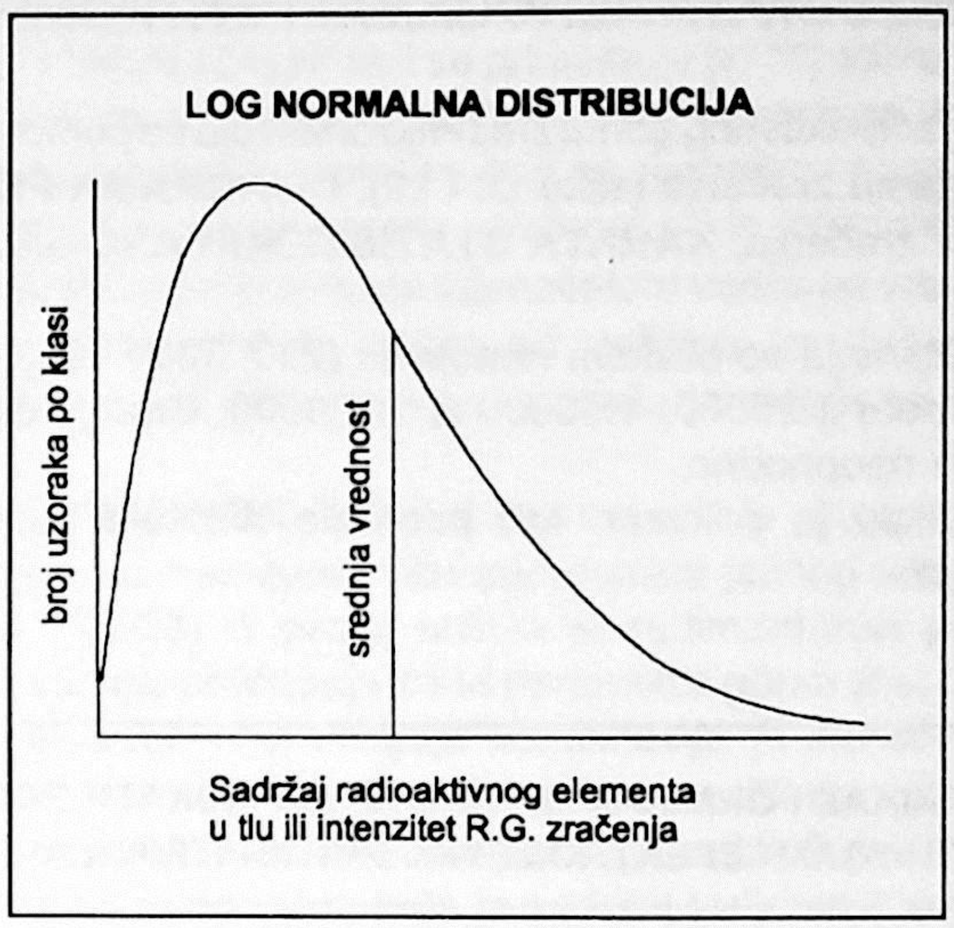
Pošto su izračunate veličine (m) i (σ),za svaku geološku sredinu posebno, izračunavamo sledeće konstante:

$$(m + 1\sigma) , (m + 2\sigma) , (m + 3\sigma) ,$$

$$(m - 1\sigma) , (m - 2\sigma) \text{ i } (m - 3\sigma) \text{.....(52)}$$

Postavlja se pitanje: zbog čega izračunavamo veličine iz formula (52) ? Odgovor se nalazi u fundamentalnim principima statističke analize. Poznato je, naime, da pri normalnoj distribuciji dobijamo takozvanu **GAUSOVU KRIVU** (slika 28) kod koje vrednosti koje odstupaju od srednje vrednosti u granicama ($m -1\sigma$) do ($m +1\sigma$) čine 68,26% ukupnog broja merenih vrednosti dok se u opsegu ($m-2\sigma$) do ($m+2\sigma$) nalazi 95,46%, a u opsegu ($m-3\sigma$) do ($m+3\sigma$) nalazi 99,73% merenih vrednosti. Ovde pristupamo jednoj filozofskoj spekulaciji: pretpostavljamo da smo korektno i do kraja otklonili sve štetne uticaje na merene podatke i da operišemo sa istinitim vrednostima intenziteta gama zračenja, ili sadržaja radioaktivnih elemenata, na posmatranim tačkama. Cilj statističke analize, u našem slučaju, biće ne samo određivanje najverovatnije vrednosti posmatranih veličina, već određivanje ANOMALIJA intenziteta gama zračenja, ili sadržaja K, U i Th u tlu. Traže se, dakle, tačke koje se nalaze izvan intervala ($m-1\sigma$)-($m+1\sigma$); ($m-2\sigma$)-($m+2\sigma$) i ($m-3\sigma$)-($m+3\sigma$). U geofizici ovaj postupak poznat je pod imenom "METODA DVE ILI TRI SIGME".

Vrednosti merenih podataka koje odstupaju za dve ili tri standardne devijacije od srednjih vrednosti ukazuju na povećan ili snižen sadržaj radioaktivnih elemenata u tlu.



Slika 29

Ako prihvatimo ovakav prilaz analizi podataka dalji postupak je relativno prost. Svaki obrađen podatak ispituje se više puta, tako što se njegova vrednost upoređuje sa konstantama iz formule (52). Dobijeni podaci formiraju novu datoteku koja se može prikazati u vidu tabela ili karata.

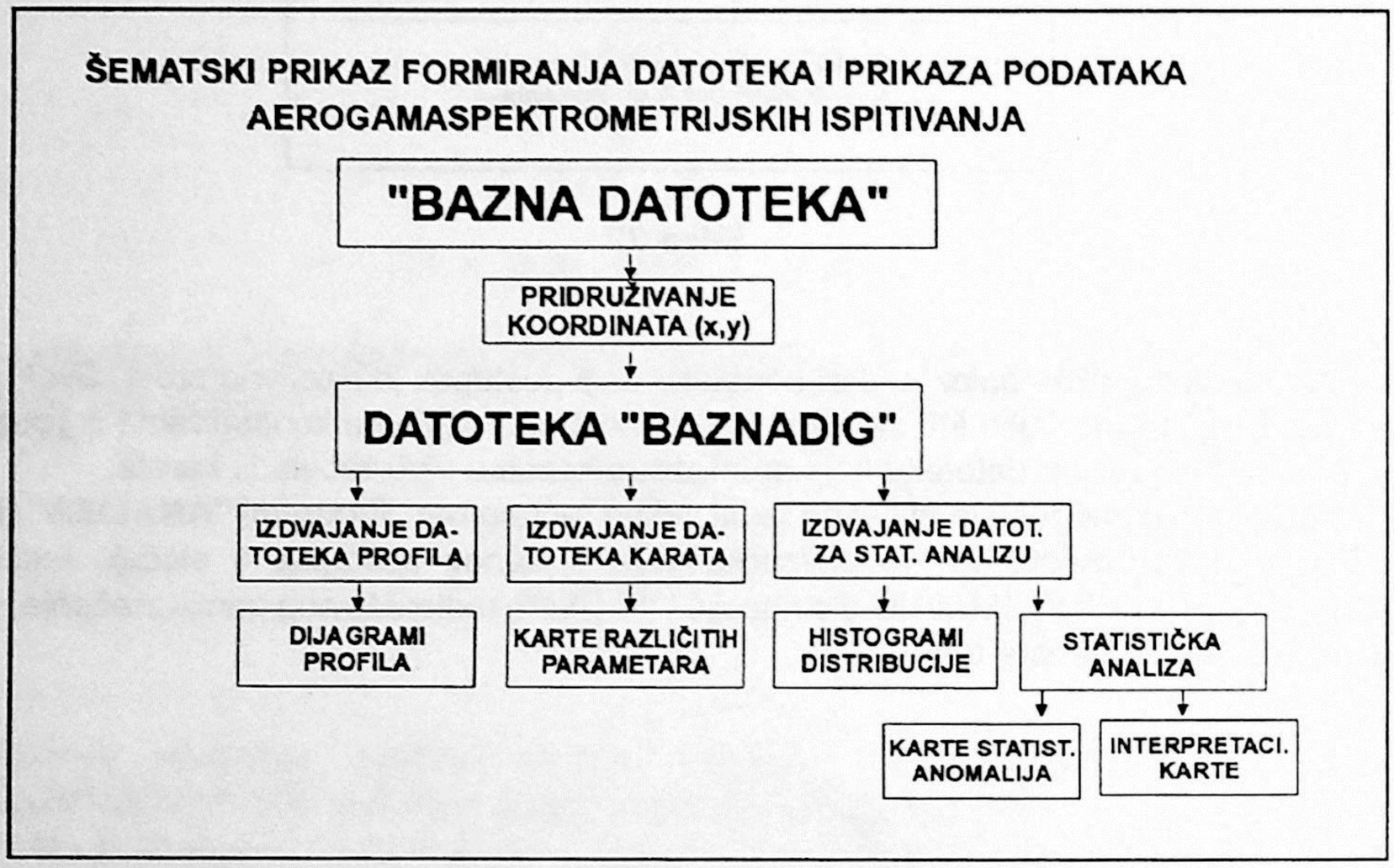
Opisan postupak moguće je efikasno raditi jedino računarom. Programi **"ANALIZA" (LIT-38) i "ANALIZALN" (LIT-38)** koriste se za realizaciju gore opisanog postupka u slučaju kada imamo NORMALNU, odnosno LOGNORMALNU distribuciju intenziteta radioaktivnog gama zračenja, odnosno sadržaja radioaktivnih elemenata u tlu.

17.0.PRIKAZ REZULTATA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA

Podaci ispitivanja radioaktivnog gama zračenja prikazuju se pomoću: **HISTOGRAMA** distribucije intenziteta radioaktivnog gama zračenja (slike 28 i 29), **DIJAGRAMA PROFILA** ispitivanja, **KARATA** različitih parametara gama zračenja, **KARATA STATISTIČKIH ANOMALIJA i INTERPRETACIONIH KARATA** (LIT-38)

Kada su profili ispitivanja na bliskom rastojanju (250, 500 i 1000 m) rezultati se, prvenstveno, prikazuju na kartama razmere 1:25000, 1:50000 ili 1:100000. Crtanje dijagrama za profile ispitivanja u mnogim slučajevima nije neophodno.

Na slici 30 šematski je prikazan tok pripreme datoteka i prikaza podataka aerogama-spektrometrijskih ispitivanja.



Slika 30

Kompjuterskim programom "PROFILI" izdvajaju se iz datoteke "BAZNADIG" podaci za crtanje dijagrama profila. DIJAGRAMI se crtaju po programu **"CRTAPRO"**(LIT-38).

Svi programi pisani su na FORTRAN jeziku za računar **VAX-11/750 i PLOTER CALCOMP.**

17.1. Karte intenziteta gama zračenja različitih parametara

Za crtanje karata intenziteta gama zračenja, ili sadržaja, kalijuma, urana, torijuma, ukupnog gama zračenja, odnosa K/U, K/Th ,U/Th itd. neophodno je formirati nove datoteke koje se izdvajaju iz datoteke "BAZNADIG" programom **"KARTA"** (lit 38). Novoformirane datoteke sadrže samo tri osnovna parametra i to: koordinate (X,Y) i veličina intenziteta gama zračenja, ili sadržaja, određenog elementa, kao treću koordinatu.

Interpolacija se najčešće vrši sistemskim programom. Za interpolovanje podataka korišćen je **"CONTOUR"** program urađen u firmi **CALCOMP (USA).**

Statističku analizu podataka izdvojenih za pojedinačne geološke formacije vršimo,kao što je već kazano, programima "ANALIZA" i "ANALIZALN" koji se primenjuju po određivanju karaktera distribucije. Program **"STANKA"** (lit 38) koristimo za prikaz rezultata statističke analize. Na geološkoj osnovi, duž profila ispitivanja, naneti su rezultati statističke analize, koji su simbolima označeni na sledeći način : tri zvezdice sa desne strane profila označavaju merenu vrednost čiji je intenzitet gama zračenja veći od veličine ($m+3\sigma$), sa dve zvezdice merenu vrednost sa intenzitetom većim od vrednosti ($m+2\sigma$),sa jednom zvezdicom merenu vrednost sa intenzitetom većim od veličine ($m+1\sigma$) dok su sa leve strane isprekidanim linijama označene vrednosti intenziteta gama zračenja manje od konstanti ($m-3\sigma$), ($m-2\sigma$) i ($m-1\sigma$).

Programom **"INTERPRET"** (lit-38) izdvajamo najverovatnije prostore sa anomalijama gama zračenja na taj način što istovremeno ispitujemo više parametara jednog istog sloga podataka.

Program **"INTERPRET"** (lit-38) u svojoj suštini je rudimentaran pristup primeni veštačke inteligencije u geologiji. U ovom slučaju analiziraju se tri parametra gama zračenja koji, u međusobnom odnosu, daju 27 različitih kombinacija. Najpovoljnija kombinacija je označena simbolom AAA.Ona pokazuje da je intenzitet merene vrednosti gama zračenja urana viši od veličine ($m+3\sigma$) za ispitivnu geološku sredinu. Isto važi za odnose U/Th i U/K. Na osnovi toga, zaključujemo da se na ispitivanoj tački uran karakteriše anomalijski visokim sadržajem, a da je sadržaj torijuma i kalijuma anomalijski nizak.

Opisan pristup omogućio nam je, automatski, izdvajanje anomalija gama zračenja, u svakoj od analiziranih geoloških sredina. Ako u analizu uključimo i ostale relevantne parametre , kao što su: ukupno gama zračenje, visina sa koje je svaki podatak izmeren, uticaj reljefa, perspektivnost geološke formacije i td.,dobićemo ogroman broj kombinacija na osnovi kojih ćemo biti u mogućnosti da izdvojimo ISTINITE anomalije radioaktivnog gama zračenja, ili sadržaja radioaktivnih elemenata u tlu.

Opisan pristup analizi podataka aerogamaspektrometrijskih ispitivanja zahtevao bi sistematske opite i razvijanje programa na drugačijim principima, odnosno korišćenje principa **"VEŠTAČKE INTELIGENCIJE"** i rada **"EKSPERTNIH SISTEMA"**, što ostaje cilj za buduća istraživanja.

18.0. PRIRODNA RADIOAKTIVNOST

Prirodna radioaktivnost je glavni izvor radijacije kojoj je čovek izložen. Može se podeliti na spoljašnju, koja egzistira izvan čovekovog organizma i unutrašnju koja postoji u čovekovom telu.

Najznačajniji unutrašnji prirodni izvori radioaktivnog zračenja su radioaktivni K-40 i Rn-222 koji su locirani u čovekovom telu.

Spoljašnji prirodni izvori radioaktivnog zračenja kojima je čovek izložen su: kosmičko zračenje i prirodno radioaktivni elementi K-40, U-238, U-235 i Th-232 i produkti raspada njihovih radioaktivnih porodica, ili nizova, od kojih se neki ili svi mogu nalaziti u tlu kao sastojci minerala, stena ili ruda.

Obe vrste izvora karakterišu se nivoom radijacije koji varira u funkciji vrste i sadržaja geološkog materijala ili nadmorske visine.

Nivo prirodne radioaktivnosti predstavlja minimum moguće čovekove izloženosti zračenju. On se koristi kao polazna veličina kad je potrebno odrediti veličinu i značaj radioaktivnosti koja potiče od različitih izvora veštačkog zračenja. Uticaj veštačke radioaktivnosti koju je čovek proizveo svojim radom postaje sve značajniji obzirom na povećanje broja nuklearnih elektrana, istraživačkih reaktora, vojnih reaktora, medicinskih i industrijskih izotopa koji podižu opšti nivo ozračenosti stanovništva. Zbog toga je neophodno poznavanje konstantnog nivoa prirodne radioaktivnosti.

Prirodna radijacija potiče od izvora koji su uvek deo čovekovog okruženja u njegovoj životnoj sredini. Spoljni izvori radioaktivnosti koji okružuju čoveka sastavljeni su od terestričkih gama zračenja, gama zračenja građevinskog materijala i kosmičkog zračenja.

Unutrašnji izvori dospevaju u čovekov organizam preko hrane i udisanjem prirodno radioaktivnih supstancija.

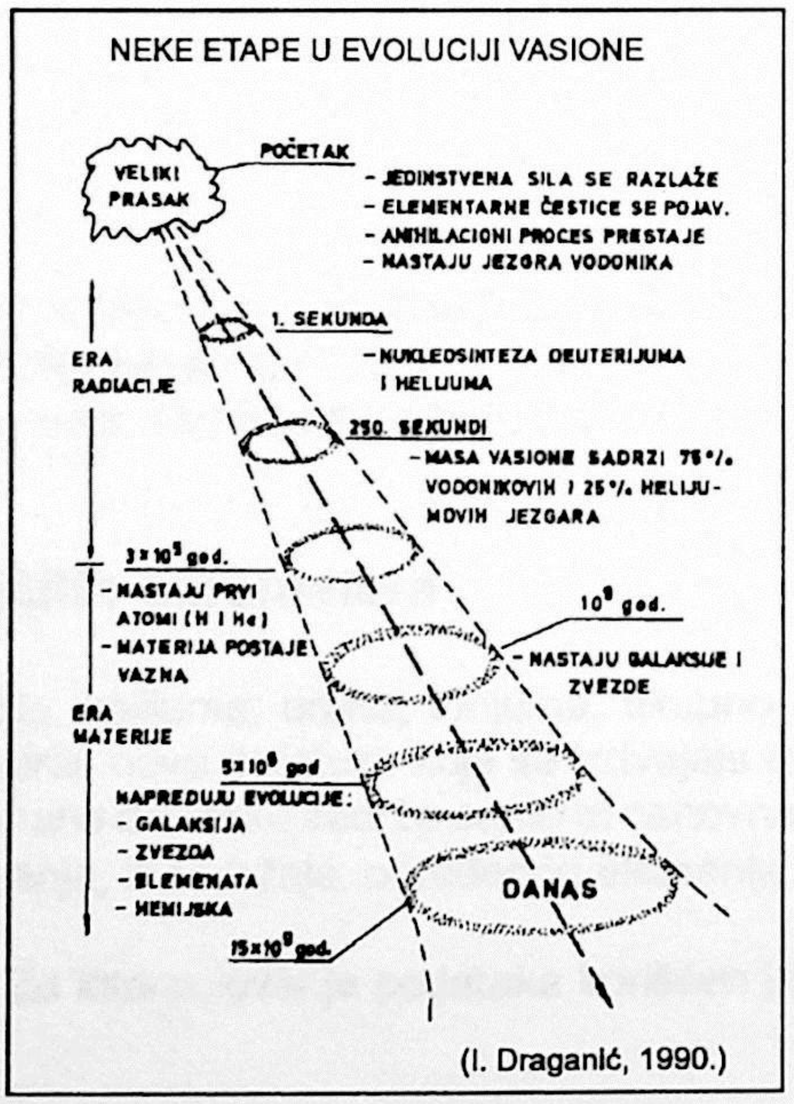
Prirodni radioaktivni nukleidi imaju dvojako poreklo i generalno pripadaju dvema klasama: klasi kosmogenih izvora, koji su nastali u procesu interakcije kosmičkih zraka sa atomima atmosfere i primordijarnih (praiskonskih) zemaljskih izvora koji su nastali pri stvaranju Sunčevog sistema i Zemlje.

Početak postojanja radioaktivnog zračenja prema danas prihvaćenim hipotezama, vraća nas na sam početak evolucije Vasione i nulti trenutak od kojeg počinje odbrojavanje vremena. Polazi se od neizdiferencirane smeše energije i radijacije sve do današnjih dana (I.Draganić,1990.).

Proces počinje velikim praskom, eksplozijom jedne beskrajno male zapremine. U vreloj lopti koja se širi i hladi u deliću prve sekunde jedinstvena sila deli se na četri osnovne prirodne sile (gravitacionu, elektromagnetnu, jaku nuklearnu i slabu nuklearnu). Drugi značajni događaji se takođe odigravaju u toku prve sekunde. Elementarne čestice se izdvajaju iz jednog jedinstvenog osnovnog sastojka materije pri čemu se stvaraju jezgra vodonika. Formiranje jezgra deuterijuma i helijuma je završeno u toku prvih nekoliko minuta. Posle 300 000 godina završava se faza evolucije u kojoj dominiraju zračenja i počinje faza u kojoj dominira materija. U Vasioni koja se širi i hladi materija se nakuplja i posle jedne milijarde godina pojavljuju se prve galaksije i zvezde.

Proces nukleosinteze teče u jezgrima zvezda i nuklidi teži od helijuma počinju da se stvaraju.

Energija se u zvezdama proizvodi u nuklearnim reakcijama. Vrsta reakcije zavisi od temperature u jezgru zvezda, a ova od njene mase i starosti. Različiti tipovi zvezda "sagorevaju" različita goriva u nuklearnim procesima. Pri tome dolazi do nukleosinteze težih jezgara od jezgara lakših elemenata. Na Slici 31 prikazane su neke od etapa u evoluciji Vasione. Oko pete milijarde godina starosti formiranja Vasione počinje evolucija galaksija, zvezda i elemenata u njima. Posle toga nastaje hemijska evolucija. Starost Sunčevog sistema određena je pouzdanim tehnikama



(I. Draganić, 1990.)

Slika 31

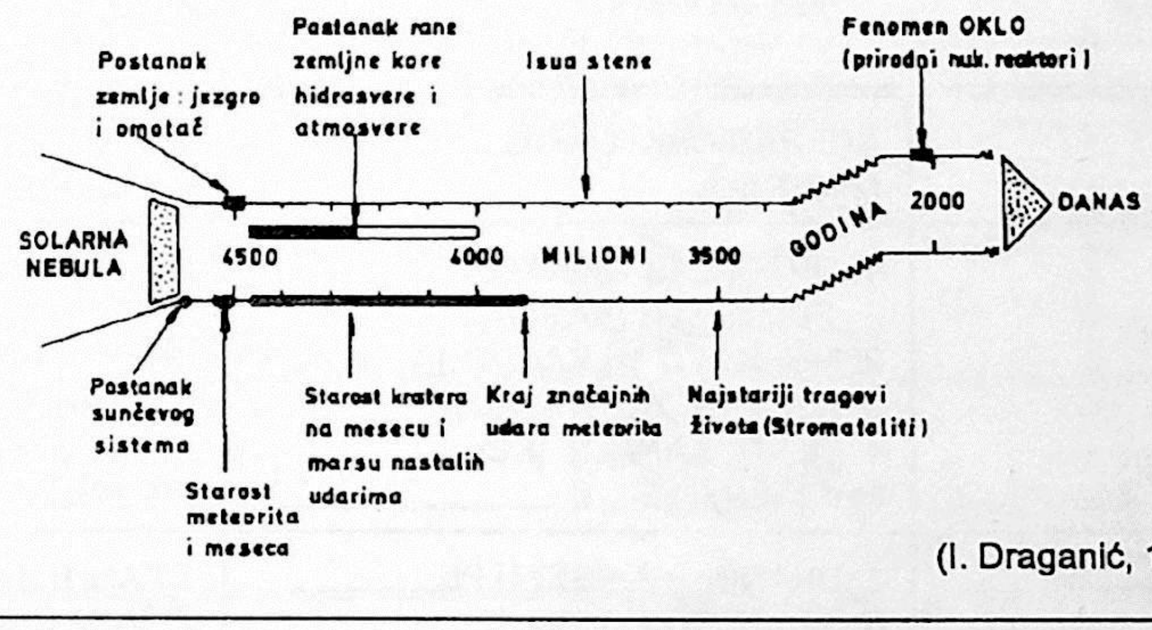
primene nekih radioaktivnih "časovnika" primordijalnih radionuklida kao što su Rb-87, Sm-147,U-238 i U-235. Radioaktivno datiranje meteorita i stena sa Meseca kazuje da su se ova nebeska tela rodila pre skoro (4.6) milijardi godina. To indirektno ukazuje na starost procesa koji su vodili formiranju naše planete. Brojna ispitivanja uzoraka stena nisu otkrila ovako stare stene na Zemljinoj površini. Najveća prosečna starost stena koja je određena na uzorcima litosfere je (3,5) milijardi godina kojih ima veoma malo i to samo na nekim lokacijama u Africi, Australiji i Severnoj Americi. Pouzdano je utvrđena starost nekih minerala od (4.3) milijarde godina. Najstarije stene na Zemlji pronađene su na Grenlandu i starosti su (3.8) milijardi godina. Objašnjenje tome je da je u ranim fazama postanka Sunčevog sistema primitivna kora Zemlje isčezla i sa njom i praiskonske stene.

Pretpostavlja se da je proces formiranja Sunčevog sistema počeo pre (4.6) milijardi godina eksplozijom **SUPERNOVE**. Smatra se da je supernova prethodila prikupljanju i rastu materije u presolarnoj **NEBULI**. Taj proces je iniciran udarnim talasom izazvanim eksplozijom. U prilog tome ide i prisustvo petnaest dugo živećih radio nuklida na Zemlji koji vode poreklo iz eksplozije supernove (I. Draganić, 1990.).

Radionuklidi su u primitivnoj atmosferi Zemlje stalno nastajali i rasipali se po ranoj planeti. To su bili radioaktivni elementi koje danas znamo u prirodi ili u laboratorijama, a možda je bilo i super teških.

U samom početku postojanja naše planete ukupna radioaktivnost je bila znatno veća od danas prisutne pošto su se mnoge radioaktivne jedinke raspale tokom (4.5) milijardi godina ži vota planete. U toku procesa nagomilavanja i srastanja presolarne materije u telu naše planete, teški radioaktivni elementi su bili povučeni prema centru Zemlje. Radiogena toplota je u toku prvih 100 miliona godina života naše planete dovela, zajedno sa gravitacionom energijom, do topljenja jezgra planete.

Važniji događaji u evoluciji Zemlje



(I. Draganić, 1990)

Slika 32

Posebno značajni izvori radiogene toplopte su: uran,torijum i kalijum-40, koji danas nisu zarobljeni u jezgru planete već su vrlo rano migrirali ka površini Zemlje zbog svojih kristalnih i hemijskih osobina jedinjenja u koje su bili ugrađeni.

Drugi prirodni radionuklidi, takođe, svojim raspadom doprinose toploti iako u manjoj meri zbog manjeg obima i slabe aktivnosti. Jedan od njih je izotop rubidijum-87, kojeg ima oko 28 % od prirodnog radijuma. Ima ga u Zemljinoj kori oko 78 ppm i emituje beta zrake, a karakteriše se poluživotom od 4.88×10^{10} god. Na tabeli XII prikazana je relativna obilnost primodijalnih radioaktivnih izotopa u elementarnom uranu, rubidijumu i kalijumu.

Spomenuti fenomeni migracije radioaktivnih elemenata urana, torijuma i kalijuma-40, u okviru hemijskih jedinjenja omogućili su današnje njihovo prisustvo kao prirodno radioaktivnih emitera i primenu geofizičkih metoda za njihovu detekciju kao i određivanje sadržaja na površini planete.

Radijacione karakteristike stena i tla najviše zavise od inicijalnog sadržaja radioaktivnih elemenata kao i od subsekventnih događaja u geološkoj istoriji koje su pretrpele date stene. Metamorfizam kao i promene vramenskih i klimatskih uslova imali su značajnu ulogu u modifikovanju distribucije radio elemenata u stenama. Gama radijacija registrovana gama spektro

metrima je indikativna za kalijum, uran i torijum samo ako su poslednja dva elementa u radioaktivnoj ravnoteži sa produktima raspadanja njihovih radioaktivnih nizova koji emituju gama zrake.

TABELA XII

KOLIČINE RADIONUKLIDA U RADIOAKTIVNOJ RAVNOTEŽI U JEDNOJ TONI URANA U PRIRODI			
NUKLID	POLUŽIVOT (GODINE)	RANA ZEMLJA PRE 4,6 MILIJARDI G.	SADAŠNJA ZEMLJA
URAN-238	$4,47 \times 10^9$	74,020 %	99,2740
URAN-235	$7,04 \times 10^8$	25,990 %	0,7200
RUBIDIJUM-87	$4,88 \times 10^{10}$	29,190 %	27,8300
KALIJUM-40	$1,28 \times 10^9$	0,145 %	0,0117
			(I.Draganić,1990.)

U normalnim uslovima radioaktivna ravnoteža je gotovo uspostavljena u gornjih nekoliko metara tla ili stena u regionu intenzivne biološke i hemijske aktivnosti.

Veliki deo urana i torijuma u magmatskim stenama je koncentrisan u pratećim (akcesornim) mineralima kao što su cirkon, sfen i apatit. Ostali visoko radioaktivni minerali kao što su monacit, alanit, pirohlor, ksenotim i torit su široko rasprostranjeni su povremeno zastupljeni. Generalno sadržaj urana i torijuma u magmatskim stenama raste sa kiselošću stena. Od radioaktivnih minerala najznačajniji su prikazani na TABELI XIII.

TABELA XIII

RADIOAKTIVNI ELEMENT	IME RADIOAKTIVNOG MINERALA	STENA I PROCESI U KOJIMA SE POJAVLJUJU
KALIJUM	1. ORTOKLAS I MIKROKLIN FELDSPATI ($KAlSi_3O_8$) 2. MUSKOVIT ($H_2KAl(SiO_4)_3$) 3. ALUNIT($K_2Al_6(OH)_{12}SO_4$) 4. SILVIT, KANALIT (KCl, $MgCl_2x6H_2O$)	GLAVNI SASTIJAK U KISE-LIM ST. I PEGMATITIMA ISTO ALTERACIJE K.VULKANITI DEPOZICIJE U SEDIMENTI-MA SOLI
URAN	1. URANINIT (OKSID U,Pb, Ra+TH, RETKE ZEMLJE 2. KARNOTIT ($K_2Ox2UO_3x V_2O_5x2H_2O$) 3. GUMIT(URANINITSKA ALTERACIJA)	GRANITI, PEGMATITI, SA ŽIČNIM DEP.Ag,Pb,Cu itd PEŠČARI UDRUŽEN SA URANINITOM
TORIJUM	1. MONACIT (ThO_2+FOSFATI RETKIH ZEMALJA 2. TORIJANIT($(Th,U)O_2$) 3. TORIT URANOTORIT ($ThSiO_4$+U)	GRANIT,PEGMATIT,GNAJS GRANITI,PEGMATITI,SEDI MENTI SA IZDVOJENIM TE ŠKIM MINERALIMA
		(Applied geophysics,1978.)

Mehaničko raspadanje magmatskih, metamorfnih i sedimentnih stena omogućava stvaranje urana koji se kasnije pretaložava na mnogo načina u sedimentima. U površinskom sloju, uran se oksidiše i odnosi u obliku rastvorljivih minerala. Ostali uranovi i torijumovi minerali koji učestvuju u građenju stena kao što su cirkon, monacit, ksenotim i torit su rezistentni na hemijsku dekompoziciju i mehaničku dezintegraciju. Cirkon, najrasprostranjeniji od tih minerala akumulira se u (placers) i u frakciji teških minerala u klastičnim sedimentima.

TABELA XIV

KLASA STENA	URAN (ppm) PROSEK OPSEG	TORIJUM (ppm) PROSEK OPSEG	KALIJUM(%) PROSEK OPSEG
KISELE IZLIVNE	4,1 0,80-156,4	11,9 1,10- 41,0	3,1 1,00-6,2
KISELE DUBINSKE	4,5 0,10- 30,0	25,7 0,10-253,1	3,4 0,10-7,6
INTERM.IZLIVNE	1,1 0,20- 2,6	2,4 0,40- 6,4	1,1 0,01-2,5
INTERM.DUBINSKE	3,2 0,10- 23,4	12,2 0,40-106,0	2,1 0,10-6,2
BAZIČNE IZLIVNE	0,8 0,03- 3,3	2,2 0,05- 8,8	0,7 0,06-2,4
BAZIČNE DUBINSKE	0,8 0,01- 5,7	2,3 0,03- 15,0	0,8 0,01-2,6
ULTRABAZIČNE	0,3 0,00- 1,6	1,4 0,00- 7,5	0,3 0,00-0,8
ALK. FELDSPAT INTERM. IZLIVNE	29,7 1,90- 62,0	133,9 9,50-265,0	6,5 2,00-9,0
ALK. FELDSPAT. INTERM. DUBINSKE	55,8 0,30-720,0	132,6 0,40-880,0	4,2 1,00-9,9
ALK. FELDSPAT. BAZIČNE IZLIVNE	2,4 0,50- 12,0	8,2 2,10- 60,0	1,9 0,20-6,9
ALK. FELDSPAT. BAZIČNE DUBINSKE	2,3 0,40- 5,4	8,4 2,80- 19,6	1,8 0,30-4,8
HEMIJSKE SEDIM.	3,6 0,03- 26,7	14,9 0,03-132,0	0,6 0,02-8,4
KARBONATI	2,0 0,03- 18,0	1,3 0,03- 10,8	0,3 0,01-3,5
DETRITUSNE SEDIM.	4,1 0,10- 80,0	12,4 0,20-362,0	1,5 0,01-9,7
METAMORFNE MAGMATSKE	4,0 0,10-148,5	14,8 0,10-104,2	2,5 0,10-6,1
METAMORFNE SEDIMENTNE	3,0 0,10- 53,4	12,0 0,10- 91,4	2,1 0,01-5,3
			(GSC Economic geology report 31,1979.)

Prirodna radioaktivnost raste od bazičnih ka kiselim stenama. U sedimentnim stenama količnik Th/U je oko broja 3 i njihova prirodna radioaktivnost je povezana najviše sa sadržajem radioaktivnih minerala. U sedimentima oko 20% njihove radioaktivnosti potiče od kalijuma. Na TABELI XIV prikazana je koncentracija radioaktivnih elemenata kalijuma urana i torijuma u različitim stenama.

19.0. KONTAMINACIJA ŽIVOTNE SREDINE PRIRODNO RADIOAKTIVNIM IZVORIMA

Svi živi organizmi na Zemlji su od svog postanka izloženi dejstvu prirodne radioaktivnosti. Razlikujemo nekoliko glavnih grupa ili vrsta radioaktivnog zračenja od kojih su najznačajniji: kosmičko zračenje, zračenje prirodnih radionuklida u zemlji, vodi, vazduhu i radioaktivno zračenje samih organizamau čiji sastav ulaze radioaktivni elementi. Prirodne radioaktivne elemente možemo svrstati u tri osnovne grupe i to na:

-prvoj grupi pripadaju oni koji su sastavni delovi Zemljine kore kao što su elementi U-235, U-238 i Th-232 koji sa svojim "potomcima" čine tri radioaktivna niza.

-drugu grupu grade radioaktivni elementi koji su sastavni deo Zemljine kore, a ne ulaze u sastav tri pomenuta niza, a to su kalijum-40 i rubidijum-87. K-40 je jedan od najrasprostranjenijih radioaktivnih elemenata, u ukupnom kalijumu (smeši K-39, 40 i 41) zastupljen je sa 0,012% i, na kraju:

-trećoj grupi pripadaju oni radioaktivni elementi koji nastaju pod dejstvom kosmičkog zračenja, a to su H-3, Be-7, Be-10, C-14, Na-22, Si-32, S-35, J-129 i drugi.

Kako radioaktivnost u prirodi postoji od njenog samog postanka i kako, u vezi sa tom činjenicom, postoje naučni dokazi da je jonizujuće zračenje bilo jedan od najznačajnijih faktora u procesu hemijske i biološke sinteze, može se zaključiti da su neki od evolucijskih skokova živog sveta posledica mutacije gena koja je nastala kao posledica prirodnog radioaktivnog zračenja pri čemu je dolazilo do formiranja kvalitetno boljih jedinki koje su produžavale vrstu na višem evolucijskom nivou (G.Đurović, D.Popović 1987). Sve biološke jedinke bile su podložene uticaju gotovo iste količine i vrste radioaktivnog zračenja pri čemu su se prirodnom selekcijom razvijale one na koje radioaktivno zračenje nije ostavljalo štetan uticaj. U tom fenomenu nalazimo objašnjenje činjenice da danas, a i kroz dugu geološku istoriju, egzistira biljni i životinjski svet i pored neosporne činjenice mogućeg štetnog dejstva radioaktivnosti. Ovako postavljen pristup dovodi nas do teorije o postojanju takozvane biološke ravnoteže živog sveta i prirodne radijacije koja je bila uspostavljena sve do trenutka kad je čovek otkrio fenomen radioaktivnosti i počeo sa njenom primenom u vojne i mirnodopske svrhe. U prvoj fazi ispitivanja radioaktivnosti oko 300 naučnika umrlo je od posledica nepoznavanja štetnosti izlaganja radijaciji. Čak je i jedini dvostruki nobelovac, slavna Marija Kiri umrla od leukemije koju je dobila posle dugogodišnje izloženosti radioaktivnom zračenju.

Može se reći da je značajan izvor zagađivanja gotovo svih faza životne sredine prirodnim radioaktivnim izotopima nastupio uvođenjem različitih tehnologija u procese eksploatacije mineralnih sirovina. U poslednja dva veka došlo je do naglog povećanja ugrožavanja prirode i čovekove uže životne sredine što je dovelo da danas na kraju XX veka postoji realna opasnost po opstanak civilizacije i sveg živog sveta.

Značajni izvori zagađivanja svih faza životne sredine su prirodni radionuklidi koji u životnu sredinu dospevaju određenim tehnološkim procesima kao što su: korišćenje superfosfatnih đubriva bogatih uranom, eksploatacijom rudnika urana i neodgovarajućim skladištenjem otpadnih produkata, sagorevanjem uglja u termoelektranama, čiji pepeo sadrži znatne količine urana i njegovih potomaka.

Pod kontaminacijom tla prirodno radioaktivnim elementima podrazumevamo svako prirodno ili veštačko povećanje njihovog sadržaja koje je nastalo mehaničkim ili hemijskum prinosom materijala. Podrazumeva se da podloga već po svojoj prirodi i postanku sadrži određenu količinu prirodno radioaktivnih elemenata. U tom slučaju novoprispeli radioaktivni elementi su deponovani u takvom obliku da svojim fizičkim efektima i hemijskim delovanjem mogu da ugrozi živi svet ili da uđu u lanac čovekove ishrane i na taj način neposredno utiču na zdravlje čoveka.

Poznato je da je u geološkoj istoriji, u toku stvaranja gotovo svih vrsta stena iz primarnog kosmičkog materijala došlo do unosa, u različitim količinama, prirodno radioaktivnih elemenata kalijuma, urana, torijuma i rubidijuma u formi različitih minerala.

Od najvećeg značaja za nivo i vrstu prirodne radioaktivnosti nekog terena je njegov geološki sastav, koji se primarno karakteriše sadržajem rodonačelnika radioaktivnih nizova (U-235, U-238 i Th-232), a sekundarno produktima njihovog raspadanja.

Posebno značajan uticaj na nivo prirodne radioaktivnosti i veličinu ekspozicije životinjskog sveta imaju različiti procesi formiranja rudnih tela koji su praćeni hidrotermalnim procesima u kojima dolazi do obogaćivanja matičnih stena različitim mineralima, pa i radioaktivnim. Tako formirane rudne zone, oblasti, pa čak i čitave provincije karakterišu se primarnim oreolima koji se, po pravilu, karaktrišu povišenim nivoom prirodne radioaktivnosti. Usled daleko većeg sadržaja radioaktivnih elemenata unutar tako formiranih metalogenetskih provincija u odnosu na okolne geološke formacije javljaju se različiti nivoi fonskih vrednosti i različiti stepeni izloženosti široke populacije stanovništva prirodnoj radioaktivnosti, posmatrano čak planetarno. Jedna od takvih metalogenetskih provicija, kod nas, je Timočka magmatska oblast (TMK), koja je izgrađena od više faza andezitskih stena, gornjo kredne starosti. Osnovna karakteristika stena Timočkog magmatskog kompleksa je da su one u svom najvećem delu orudnjene ekonomski značajnim količinama rude bakra. Formiranje rude pretežno je nastalo u toku različitih hidrotermalnih procesa koji su bili praćeni kalijumsko metasomatskim procesima, u kojima je dolazilo do prinosa prirodno radioaktivnog kalijuma. Porfirske rude bakra imaju kao svoje glavne indikatore primarne kalijumske oreole koji su jedan od glavnih kontrolnih faktora postojanja ležišta. Pored prisustva kalijuma utvrđena je i povećana količina prirodno radioaktivnih elemenata urana i torijuma, odnosno njihovih produkata raspadanja. Zbog te činjenice sav biljni i životinjski svet je generalno više izložen prirodnoj radioaktivnosti od onog koji je lociran izvan TMK, posebno na prostorima sa stenama kalcijum karbonatnog sastava.

Drugi način povećanaja nivoa prirodne radioaktivnosti vezan je za prirodne mehaničke procese dezintegracije i procese hemijskog razlaganja i predislociranja produkata u vidu različitih mehaničkih i hemijskih, sekundarnih, oreola rasejavanja ili ležišta različitih mineralnih sirovina. Upravo u tim, sekundarnim, procesima leži uzročnik povećanog nivoa prirodne (fonske) radioaktivnosti, ako sve primarne procese i oreole shvatimo kao uzročnike osnovne ili fonske radijacije. Takvi procesi povećanaja nivoa prirodne radioaktivnosti jedne sredine donetim delovima drugih litoloških članova sa iste, ili udaljenih, površina smatramo, takođe, prirodnim procesima kontaminacije.

Treći, ne manje značajan, faktor poremećaja nivoa prirodne radioaktivnosti ili fonskih vrednosti radijacije neke naseljene oblasi je čovekovo svesno delovanje u prirodi. Ono ima formalno opravdan cilj - povećanje bogatstva čovečanstva iz kojeg je proistekla ekonomska zainteresovanost za proširenje eksploatacije prirodnih resursa, a iz tog interesa, slično principima geometrijske progresije, ubrzan tehnološki razvoj i uvođenje novih tehničkih izuma čiji su efekti: sve veći stepen iskorišćenja gotovo svih mineralnih sirovina i snižavanje najnižeg eksploatabilnog sadržaja elementa u rudama.

Značajne količine radioaktivnog otpadnog materijala javlja se već u fazi kopanja i mlevenja rude. Da bi se gorivom za godinu dana rada snabdela nuklearna elektrana snage 1000 megavata potrebno je iskopati i samleti 120.000 tona rude sa 0,2%U. Zapremina ovog materijala je 58 000m^3 i može da se smesti tako da pokrije površinu ne veću od 1,5 ha. Ukupna aktivnost je oko 700 Ci , od čega 10% odlazi na dugoživeći Th-232 (poluživot 80.000 godina) i radijum-226 (poluživot 1600 godina). Očigledno je da depozit sa otpadom predstavlja opasnost po okolinu i to na dugoj vremenskoj skali (hiljade godina). Posebno opasni su radon koji odlazi u atmosferu i radijum koji se rastvara u vodi i odlazi sa njom.

Zadržimo se smo na primeru rudnika bakra Bor koji je nekad imao eksploatabilne rudne zone sa količinom bakra između 8 i 15% da bi danas bila korišćena ruda sa količinom bakra od 0,3%. Takvi odnosi posle dugog niza godina eksploatacije su zakonitost kod mnogih rudnika, ne samo kod nas već i u svetu. Neophodna velika količina materijala koja se mora prvo skladištiti u blizini postrojenja za flotaciju ili topionica neminovno dovodi do kontaminacije sve većih površina kako mehaničkim fragmentima tako i hemijskim ostacima rude, koje najčešće sadrže i radioaktivne minerale. Posledica je velika kontaminirana površina terena i površinskih i podzemnih voda preko kojih se kontaminiraju podpovršinske stene u kojima dolazi do obaranja rastvorenih radioaktivnih mineralnih materija. Prilikom transporta rude dolazi do rasturanja materijala veličine od nekoliko decimetara do najfinijih čestica mikronskih veličina koje, putem vetra, mogu u jednom višegodišnjem periodu da zagade veliku površinu od više stotina kvadratnih kilometara pa čak i do više hiljada kvadratnih kilometara. Jedan od primera takve vrste kontaminacije je površina koja se prostire 50 km od boksitonosnih terena Nikšića do centra samog garada, odnosno železničke stanice, odakle se

vrši transport vozom do Podgorice. Druga, sličana relacija nalazi se između boksitonosnih terena Vlasenice i postrojenja za preradu boksita "Birač", kod Zvornika, kod koje je na putu transporta došlo do rasipanja boksitne rude koja u sebi sadrži radioaktivni torijum u količini i do 70 ppm.

Ako svemu dodamo nesavestan rad mnogih ljudi koji odlučuju o velikim ekološkim posledicama i, na primer, kod gotovo svih termoelektrana ne koriste filtere na dimnjacima zbog čega dolazi do zagađenja velikih površina pepelom. Može se reći da je jedan takav primer kod nas čitavo Kosovo koje je prekriveno najfinijom prašinom u kojoj se nalazi povećan sadržaj prirodno radioaktivnih elemenata urana i torijuma.

Vratimo li se na prirodne procese pri kojima se stene raspadaju i dekomponuju akcijom eksternih agenasa kao što su temperatura, kiša, vetar, drveće ili bakterije i njihov produkt raspadanja u vidu površinskog sloja raspadnutog materijala uočićemo da je esencijalna karakteristika takvog materijala ta da je u pitanju netransportovan mehanički materijal.

Takav materijal u daljem procesu premeštanja može, u zavisnosti od sastava primarne stene, kontaminirati velike površine terena.

Generalno postoje dva tipa raspadanja stena:

-mehanički, koji se najviše javljaju pod uticajem promena temperature i pod dejstvom korena biljaka.

-hemijski koji se javljaju kao dejstvo supstancija rastvorenih u površinskim i podzemnim vodama ili kišnici. Te vode su najčešće kiselog karaktera zbog čega rastvaraju stene.

Kod oba slučaja klimatski faktor igra značaju ulogu pri površinskom raspadanju stena zbog čega je hemijsko raspadanje skoro odsutno u aridnim regionima dok su mehanički efekti dominantni u subarktičkim klimama.

Kao što se vidi, kod oba tipa raspadanja stena čiji produkti mogu kontaminirati tlo, voda igra značajnu ulogu u procesu dezintegracije stena i minerala. Ona je, takođe, značajan faktor pri transportu materijala, a njen sastav i hemijske karaktristike utiču na to kako i koliko će materijala biti rastvoreno i gde će biti taj materijal oboren. Efekti razaranja stena rastvaranjem generalno su manje vidljivi u odnosu na mehanička razaranja, ali mogu biti vrlo značajni. Na primer, gornji slojevi nekih zatvorenih basena su nastali akumulacijom materijala nastalog rastvaranjem stena okolnih oblasti. Količina materijala u tim procsima je ponekad veoma velika. Računanja bazirana na proučavanju površinskih voda samo za jednu oblast i jednu godinu u SAD pokazuju da se sa površine jednog kvadratnog kilometra transportuje 27 - 30 tona rastvorenog materijala. Ako takve količine materijala dospeju u nekim ekstremnim slučajevima, na primer poplavama, na površine koje se koriste za poljoprivredu ili u rezervoare vode za piće pod određenim geohemijskim uslovima doći će do velikog obaranja rastvorenog materijala, dobrim delom i radioaktivnog, koji potiče sa okolnih geoloških jedinica i kontaminacije čitavih žitnica. Takve slučajeve imali smo dug niz godina u Pomoravlju i gornjem toku reke Save.

Izračunato je da je količina od 30 tona materijala, koji se odnese sa jednog kvadratnog kilometra, približno ekvivalentna smanjenju nivoa površinskog sloja od oko (1m) na svakih 60000 godina (John D.Hem,1959).

Dejstvo vode u smislu rastvaranja praktično se manifestuje na svim mineralima. Proces rastvaranja vodom značajno raste sa porastom rastvorenog CO_2 koji sa vodom formira kiselinu. Organske kiseline, takođe, u mnogim slučajevima povećavaju rastvorljivost vode.

Kalijum, čiji jedan izotop (K-40) ima značajan doprinos radioaktivnoj kontaminaciji prirodne sredine, karakteriše se relativno niskim potencijalom rastvaranja. Ovaj radioaktivni izotop sa poluživotom $1,28x10^9$ godina predstavlja danas samo 0,0117% prirodnog kalijuma, koji je zbog relativno visoke obilnosti kalijuma u prirodi značajan primordijarni radionuklid; 10 kilograma kalijuma ima u (1)toni peska i 35 kg u (1) toni granita dok u (1) toni morske vode ima 0,38 kg kalijuma. Ukupan sadržaj kalijuma u prosečnom čovečijem telu je 0,14 gr i K-40 je predominantni prirodni radio nuklid u našem organizmu ukupne aktivnosti 3900Bq (Draganić,1990.). Kad kalijumski minerali koji izgrađuju stene pređu u rastvor odmah teže da se u nekoliko različitih procesa vrate u čvrstu fazu. Bazični procesi u kojima se to može dogoditi su adsorpcija u glinama. Jedan od najznačajnijih procesa u tom smislu je konverzija montmorionita u albit.

Neki autori su posebnu pažnju obratili na ulogu biljaka u koncentraciji i transportu kalijuma. Kalijum rastvoren u tečnosti koja prolazi kroz biljku kao hrana biće izveden iz tla i prelociran u stablo i grane biljke, odakle se tek umiranjem biljke vraća u tlo na mestu, ili transportom na drugo mesto. Ako se takva biljka koristi za loženje ili na drugi način u ljudskoj delatnosti postaje faktor kontaminacije tla ili životinjskog sveta. Zbog osiromašenja zemljišta neophodno je izvršiti dodavanje kalijuma što se čini upotrebom veštačkog đubriva. Sastav veštačkog đubriva je takav da poneka vrsta đubriva sadrži i do 15% kalijuma. Ako se nekritički upoterbljava veštačko đubrivo može izazvati štetne uticaje na kvalitet hrane i zdravlje milionskog broja potrošača životnih namirnica kao što su žitarice, kukuruz, repa i t d.

Uran kao prirodno radioaktivan element javlja se u vidu nekoliko izotopa od kojih je U-238 najrasprostranjeniji. On je rodonačelnik niza na čijem je kraju Pb-206. Najmanji sadržaj urana javlja se u ultrabazičnim stenama dok se u sedimentnim stenama može javiti kao apsorbovan ili uključen u cementnoj masi peščara. Najveći sadržaj urana javlja se u kiselim stenama od kojih ga ima unajviše u granitima.

Uran se javlja u prirodi kao jon U^{4+} koji u redukcionim uslovima postaje značajno rastvorljiv u vodi sa niskim pH. On se takođe u prirodnim uslovima javlja u vidu jona U^{6+} ili kao uranil (UO_2^{++}) jon. Sa visokim nivoom pH može biti stvoren kao jedan anjon i biti prisutan kao uranat. Pod oksidacionim uslovima šestovalentni uran U^{6+} u formi uranil karbonata je visoko rastvorljiv. U redukcionim uslovima četvorovalentni uran U^{4+} je relativno nemobilan.

Materijal sa visokim sadržajem urana su graniti i metamorfiti, lignit, monacit i fosfati. Neki fosfati sadrže od 100-300 gr/t urana. Po tome su poznati marokanski fosfati koji se koriste u našim fabrikama veštačkog đubriva. Analiza podataka nekih mešovitih fosfatnih đubriva pokazale su da je sadržaj urana u njima oko 4 ppm. Pošto je godišnja proizvodnja veštačkog đubriva naših fabrika oko (1) milion tona koncentrata, znači da svake godine po našim poljima tretiranim veštačkim đubrivima bacamo oko četri tone čistog urana. Ako smo samo u poslednjih 20 godina počeli sa savremenim načinom prehranjivanja poljoprivrednih biljaka veštačkim fosfatnim đubrivima njegovim bacanjem iz aviona količina urana kreće se od minimum 40 do maksimum 80 tona urana.

Radijum kao prirodno radioaktivan element javlja se u četiri prirodna izotopa kao Ra-223, Ra-224, Ra-226 i Ra-228. Dva od njih su produkti dezintegracije urana (Ra-226) i torijuma (Ra-228). Ra-226 ima poluživot oko 1600 godina, mnogo više nego bilo koji drugi. Verovatno je Ra-226 izotop koji se najčešće pojavljuje u prirodnoj vodi. Radijum je prisutan u svim stenama, u tlu, površinskim vodama i bunarima. Budući da je hemijski sličan kalcijumu, hemijskom elementu obilno prisutnom u tlu, biljke ga takođe efikasno apsorbuju i kroz lanac ishrane dolazi do čoveka, gde se nagomilava u kostima. Svi izotopi radijuma su jako radioaktivni. Oni mogu biti determinisani u ekstremno malim količinama radiohemijskom procedurom. Radijum kao član alkalne četvrte grupe elemenata poseduje neke zajedničke hemijske osobine sa barijumom. Sulfat je skoro nerastvoran u vodi. Mada je on produkt dezintegracije U-228 postoji mnogo razloga da radijum bude izdvojen od urana. Koncentracija radijuma u mnogim vodama je mnogo manja nego urana i generalno je niža od (1) ppm/l. Može se reći da se skoro u svim stenama i zemljištima može naći radijum u manjim ili većim količinama.

Produkt raspadanja radijuma je **Radon** (Rn-222) radioaktivan gas koji poseduje poluživot manji od četri dana (3,8 d). Saglasno tome on postiže ravnotežu sa svojim pretkom znatno brže. Naučnici su tek nedavno počeli da shvataju da je radon najvažniji od svih izvora prirodne radijacije, nevidljivi gas bez ukusa i mirisa, koji je sedam puta teži od vazduha. On doprinosi oko tri četvrtine godišnje efektivne ekvivalentne doze koju pojedinci primaju iz zemaljskih izvora i oko polovine onih doza koje oni primaju iz svih prirodnih izvora zajedno.

Radon je rastvorljiv u vodi do neke granice. Prisutan je u mnogim izvorima i podzemnim vodama. Izotopi Rn-220 i Rn-219 retko se mere u vodama za piće zbog njihovog vremena poluraspada koje je ispod (1) sekunde. Preovlađujuća forma pojavljivanja radona je Rn-222 koji se tipično nalazi u podzemnim vodama. Veća količina Rn-222 se javlja u procesu difuzije radona kroz porozne stene i tlo pri raspadu Ra-226 u vodonosnom sloju. Radon se generalno nalazi na niskom nivou u površinskim vodama što je posledica njegovog visokog stepena isparavanja (Henrijeva konstanta 3344 Ba) i kratkog perioda poluraspada.

Dva efikasna puta vode radon u čovekov organizam: udisanje ga unosi u pluća, a vodom se rastvoreni gas raznosi po celom telu. Sam radon se lako izbacuje iz organizma disanjem pošto je hemijski inertan, a stvarnu opasnost predstavlju radionuklidi kratkog života koji nastaju njegovim radioaktivnim raspadom. Dva od njih, izotopi polonijuma, posebno su opasni zbog alfa čestica visoke energije koje emituju prilikom raspada. Ovi radioaktivni izotopi lako se vezuju za čestice prašine u vazduhu i jednom uneti u organizam ostaju kao lokalizovani izvori zračenja, biološki izuzetno opasni. Povišen nivo Rn-222 u podzemnim vodama javlja se u kiselim stenama, ležištima urana i fosfata. Koncentracije Rn-222 u podzemnim vodama su mnogo više nego u vodama za snabdevanje stanovništva. Radijum i radon zahtevaju posebnu pažnju u obradi rude urana za potrebe nuklearne energije. Oba ova elementa se još u ranim fazama procesa odvajaju od urana i ostaju u takozvanim ostacima rude, gde količina radijuma može da bude deset do sto puta veća nego u zemljištu zbog čega dolazi do obilnog stvaranja radona. Ipak koliko to bilo paradoksalno, čovek je najviše izložen uticaju radona u zatvorenom prostoru i to prosečno sedam puta više nego na otvorenom prostoru. Radon se koncentriše u vazduhu soba u zgradama koje se pretežno sastoje od zatvorenih prostorija. Više ga ima u nižim spratovima nego u višim. Iz svetskih iskustava i podataka vidimo da su čak 5000 puta više koncentracije radona krajem sedamdesetih godina registrovane u Švedskoj, a da su, prema merenjima 1982, u Britaniji i SAD nađene koncentracije veće za 500 puta od tipičnog nivoa na otvorenom prostoru (Radijacija, doze, posledice, rizici, Nolit, 1985.). Od tog vremena su u ovim dvema zemljama u nekim stanovima registrovane količine radona ravne onim u Skandinaviji.

Najobičniji građevinski materijal kao što je drvo, cigla i beton relativno malo emituju radon. Granit je, pošto sadrži veliku količinu radioaktivnih elemenata i njihovih potomaka, u mnogo većoj meri radioaktivan. Neki građevinski materijali su neprijatno iznenadili građevinare, naučnike pa i stanare pokazavši se veoma radioaktivnim.

Tokom nekoliko decenija, naprimer u Švedskoj korišćena je za pravljenje betona jedna vrsta škriljca. Taj beton je uzidan u 700 000 švedskih kuća. Kada se pokazalo da je beton visoko radioaktivan njegova upotreba se sedamdesetih godina smanjila, a zatim potpuno prekinula. Šljaka od kalcijum-silikata koja je visoko radioaktivan sporedni produkt u proizvodnji fosfatne rude, koristi se za izradu betona i drugog građevinskog materijala. Gips sa sadržajem fosfora, drugi sporedni produkt jednog drugog postupka prerade rude, mnogo je korišćen za izradu građevinskih elemenata suvog maltera pregradnih zidova i cementa. Samo u Japanu u 1974. godini upotrebljeno je tri miliona tona ovog materijala. Ali, on je, takođe, mnogo puta radioaktivniji nego prirodni gips, kojeg zamenjuje, pa su ljudi u zgradama u koje je on ugrađen za 30% više izloženi zračenju. Među druge visoko radioaktivne otpadne materijale koji se koriste u građevinarstvu spadaju crvene cigle od blata koje je, takođe, sporedan produkt u proizvodnji aluminijuma, šljake iz visokih peći i pepela od sagorevanja uglja.

Danas se zna da u mnogim zemljama procenat zgrada sa koncentracijama radionuklida radona od 1000 do 10.000 Bq/m^3 dostiže 0,01%-0,1%. To znači da prilično veliki broj ljudi može biti izložen visokim koncentracijama radona u svojim zgradama. U zemljama u kojima je taj problem manje izražen tri četvrtine kolektivne efektivne ekvivalentne doze izloženosti potiče od života u zgradama sa koncentracijama ispod 100 Bq/m^3. Ukupna efektivna ekvivalentna doza primljena usled izloženosti radonu i njegovim produktima iznosi normalno oko (1) milisivert godišnje ili oko polovone ukupne procenjene doze iz svih prirodnih izvora zračenja.

Torijum je mnogo zastupljeniji od urana u stenama. Dva elementa se mogu naći zajedno u nekim mineralima kao što su torijum dioksid, torijanit. Njihova hemijska priroda u procesima površinskog raspadanja stena nije ista. Torijum teži da se akumulira u hidroliziranim sedimentima. Za (pH) prirodnih voda koncentracija torijuma je, verovatno kontrolisana, rastvorljivošću torijum hidroksida koja je ekstremno mala.

Dvadesetak radio nuklida stvaraju se nuklearnim reakcijama sekundarnog kosmičkog zračenja sa jezgrima atoma u sastojcima donjih slojeva atmosfere (azot, kiseonik, argon). Njihove obilnosti su prikazane na TABELI XX kao i poluživoti koji se kreću od minuta do miliona godina, na primer Cl-39 (56 minuta) i Be-10 (1,6 miliona godina).

Posebno su značajni radioaktivni izotopi ugljenika i vodonika zbog uloge ovih hemijskih elemenata u procesima u prirodi vezanim za život.

TABELA XV

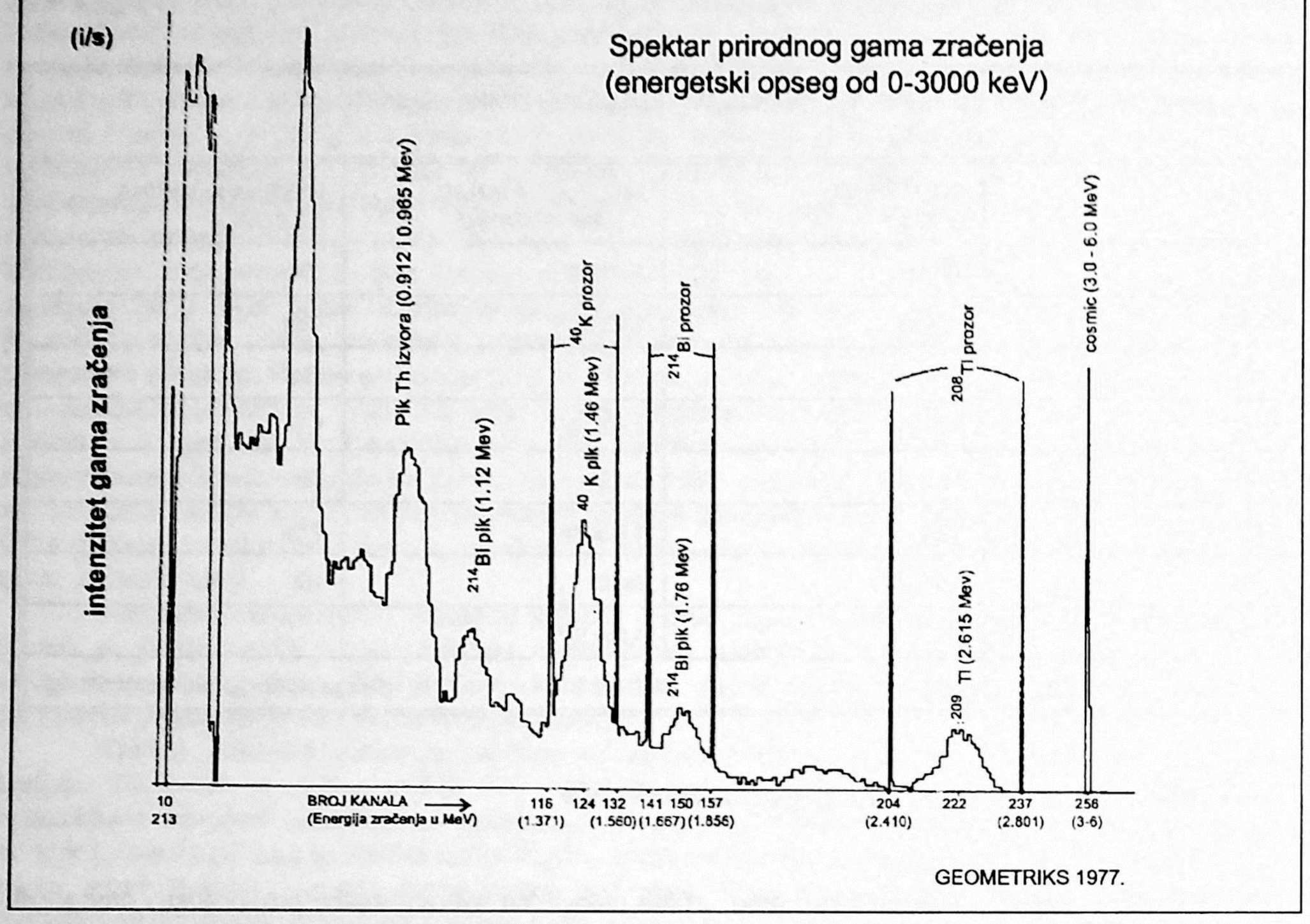
NEKI RADIONUKLIDI KOJI NASTAJU REAKCIJAMA KOSMIČKIH ZRAKA SA SASTOJCIMA ATMOSFERE			
NUKLID	POLU ŽIVOT GODINA	BRZ. NASTAJANJA ATOM/m²/GODINA	UKUPNA KOLIČINA NA ZEMLJI
H-3	12,33	$1,6X10^{11}$	7kg
Be-10	$1,6x10^{6}$	$1,26x10^{10}$	430t
C-14	5730	$7x10^{11}$	75t
Al-26	$7,2x10^{5}$	$4,80x10^{7}$	1,1t
Si-32	104	$5x10^{7}$	2t
S-35	0,24	$4,80x10^{8}$	4,5g
Cl-36	$3,01x10^{5}$	$5x10^{8}$	15t
Ar-39	269	$4,2ox10^{11}$	
			(Draganić/Draganić/Adlof,1990.)

19.1. Spektar prirodnog gama zračenja

Priroda i fizičke karakteristike gama zraka uslovili su njihovu veliku prodornost i omogućili detektovanje sa velikih visina, koje se kreću od nekoliko desetina metara do preko sto metara iznad površine tla čiju radioaktivnost želimo da izmerimo.

Pošto u sastav gotovo svih stena litosfere ulaze prirodno-gama radioaktivni elementi: kalijum, uran i torijum, ili njihovi produkti raspadanja, moguće je iz vazduha, registrovati spektar prirodnog gama zračenja (Slika 33). Pri tome registruje se intenzitet gama zračenja potomaka, a matematičkim putem određuje koncentracija prirodno radioaktivnih elemenata - predaka. Teorijske postavke ovakvog pristupa bile su poznate već četrdesetih godina, međutim, tehnološka ograničenja nisu dozvoljavala primenu rutinskih merenja gama zračenja iz vazduha. Jedino je u to vreme bilo moguće, primenom Gajger-Milerovih brojača ili scintilacionih detektora, registrovati sumarni intenzitet gama zračenja, bez mogućnosti izdvajanja pojedinih energetskih linija i određivanja uzročnika odnosno izvora gama emisije. Tek krajem šezdesetih godina konstruisan je aerogamaspektrometrijski sistem čiji se rad zasniva na korišćenju efekata scintilacije koja se događa u kristalu NaJ, aktiviranom talijumom. To je bilo moguće ostvariti zahvaljujući ovladavanju tehnologijom izrade mikročipova i digitalnom radu elektronskih sistema.

Prvi AGS sistemi bili su projektovani tako da diskriminišu četri energetska "prozora" iz celog spektra prirodnog gama zračenja. To su bili "prozori" kalijuma sa energetskim opsegom od 1371 KeV do 1560 KeV, urana od 1667-1856 KeV i torijuma od 2411 do 2801 KeV i jedan širi "prozor" takozvanog ukupnog gama zračenja (TOTAL COUNT) sa energetskim opsegom od 400 do 3012 KeV. U ovoj fazi primene aero sistema nije postojala tehnološka mogućnost registrovanja celokupnog spektra prirodnog gama zračenja iz velikog broja diskretnih podataka analiziranih u užim segmentima spektra, širine 12 KeV, nazvanih kanalima.



Slika 33

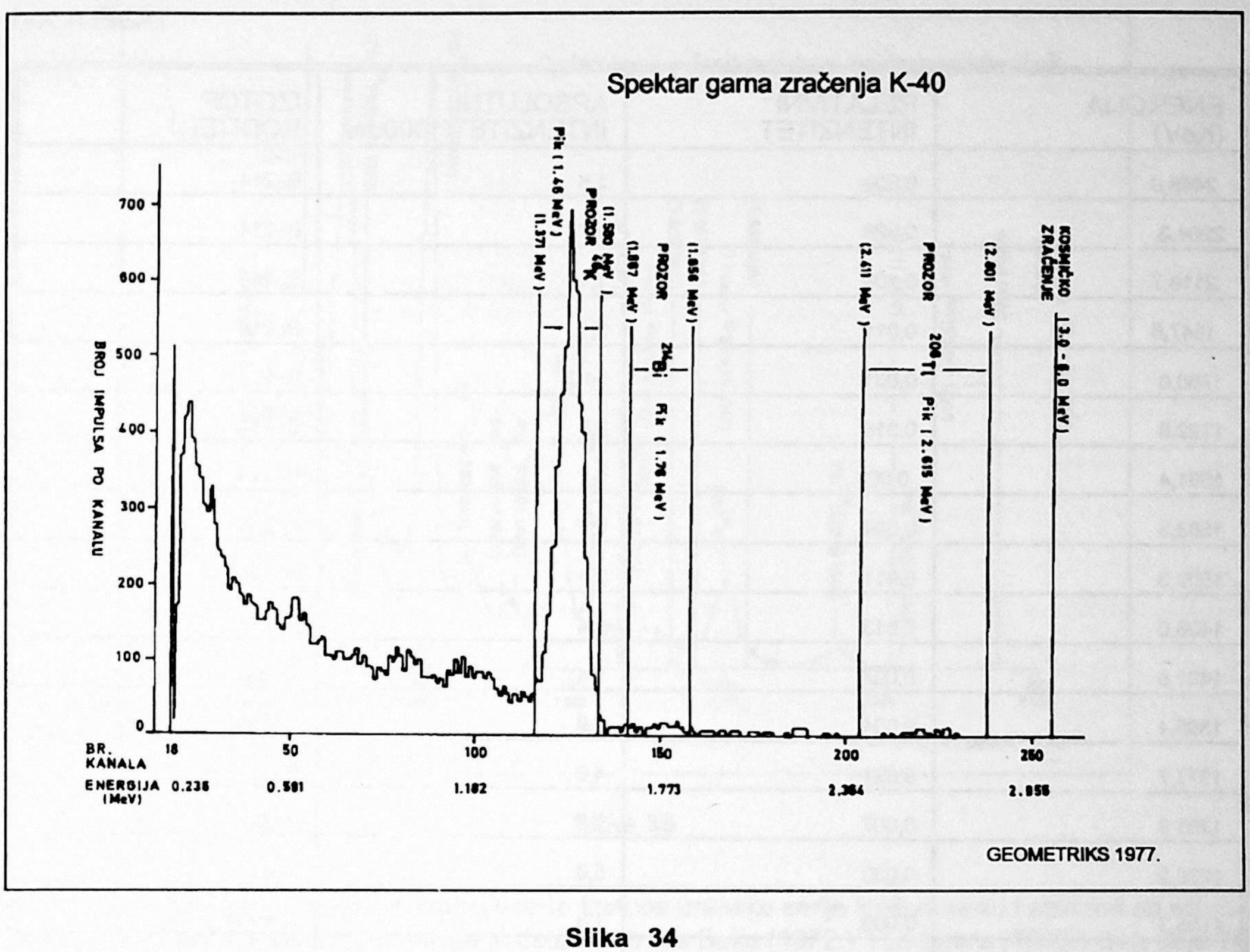
Tek naredna tehnološka generacija instrumenata omogućava analizu spektra prirodnog gama zračenja u energetskom intervalu od 0 do 3012 KeV u 256 kanala. Tim je bio zadovoljen uslov koji je prethodio razvoju metoda kontrole prirodne i veštačke radioaktivnosti primenom metoda iz vazduha, koje su prvi put primenjene u SAD.

Pošto osnovni radioaktivni izvori u prirodi, kalijum, uran i torijum, imaju svoje izotope koji emituju gama fotone različitih energija moguće je registrovati celokupan spektar prirodnog gama zračenja u jednom razumno kratkom vremenskom intervalu, koji je najčešće jedna sekunda. Očekivan izgled spektra prirodnog gama zračenja koji se dobija merenjem iznad bilo koje geološke formacije koja sadrži sva tri radioaktivna elementa (K,U i Th) prikazan je na slici 33.

Pri analizi prirodne radioaktivnosti u službi geofizičkih proučavanja i dalje je dovoljno koristiti već opisana četiri prozora. Kod svih drugih, posebno ekoloških, proučavanja bez podataka gama zračenja analiziranih i registrovanih u 256 kanala ne bi bilo moguće donositi bilo kakve relevantne zaključke.

19.1.1. Energetske linije izotopa kalijuma-40

Element kalijum ima tri izotopa (K-39, K-40 i K-41) od kojih samo kalijum-40 emituje radioaktivno gama zračenje. Pri transformaciji jezgra K-40 dolazi do beta(-) emisije koja predstavlja 88,8 % radioaktivnosti pri čemu jezgro prelazi u stabilan Ca-40. Pri beta(+) emisiji, koja čini 11% radioaktivne emisije jezgra atoma kalijuma-40, zbog poznatih zakonitosti dolazi do stanja ekscitacije



Slika 34

jezgra K-40 i spontane emisije gama kvanta energije 1460 KeV i prelaska takvog jezgra u stabilan Ar-40.

Kalijum-40 se karakteriše monoenergetskom gama emisijom. Pored relativno malog sadržaja u okviru izotopa kalijuma (0,0117%), zahvaljujući velikoj količini kalijuma u litosferi, (oko 2,6%), pik kalijuma je izuzetno jasan i nedvosmisleno ukazuje na prisustvo gama emitera K-40 sa energijom od 1460 KeV.

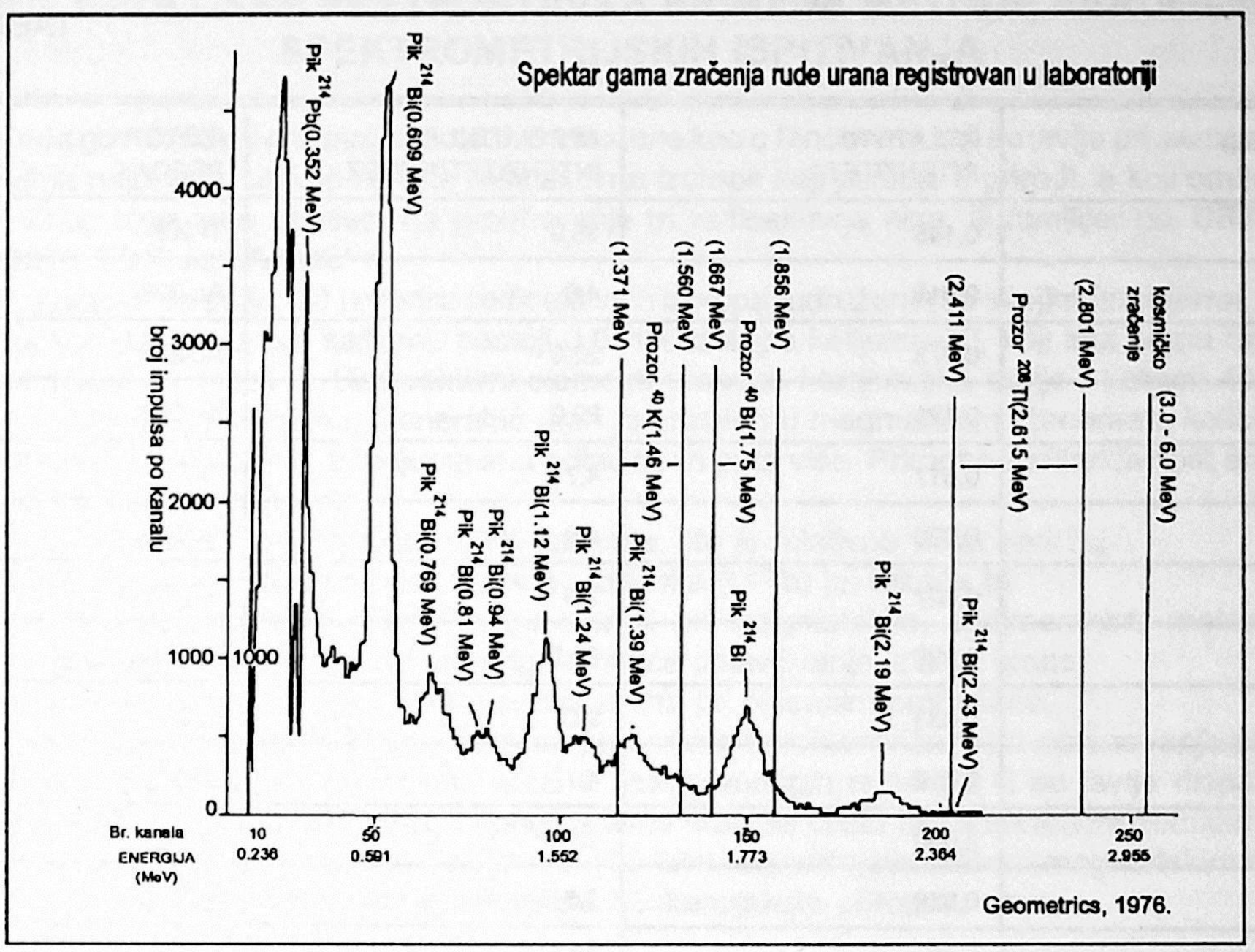
Na slici 34 prikazan je primer i pozicija pika kalijuma-40 u spektru prirodnog gama zračenja, bez prisustva drugih prirodnih gama emitera, registrovanog AGS sistemom.

19.1.2. Energetske linije gama emitera radioaktivnog niza urana-238

U sadašnjem trenutku na površini Zemlje kao planete postoje dva prirodna izotopa urana (U-235 i U-238) koji su zbog ranije opisanih osobina u odnosu 0,727 % (U-235) prema 99.273 % (U-238) pa zbog toga najveći deo prirodne radioaktivnosti koji potiče od izotopa urana pripada Uranu-238 i njegovim potomcima.

TABELA XVI

ENERGIJA (KeV)	RELATIVNI INTENZITET	APSOLUTNI INTENZITET/1000dez	IZOTOP RODITELJ
2448,0	0,009	1,5	Bi-214
2204,3	0,026	4,7	Bi-214
2118,7	0,006	1,1	Bi-214
1847,6	0,011	2,1	Bi-214
1760,0	0,081	14,7	Bi-214
1729,8	0,016	2,8	Bi-214
1661,4	0,006	1,1	Bi-214
1583,3	0,004	0,7	Bi-214
1509,3	0,011	2,1	Bi-214
1408,0	0,013	2,4	Bi-214
1401,6	0,007	1,4	Bi-214
1385,4	0,004	0,9	Bi-214
1377,7	0,021	4,6	Bi-214
1281.0	0,007	1,5	Bi-214
1238.2	0,030	5,6	Bi-214
1155,3	0,006	1,8	Bi-214
1120,4	0,073	14,5	Bi-214
934,0	0,015	3,1	Bi-214
806,2	0,005	1,2	Bi-214
786,0	0,004	1,1	Pb-214
768,4	0,023	4,8	Bi-214
665,6	0,007	1,5	Bi-214
609,4	0,028	43,0	Bi-214
352,0	0,177	35,0	Pb-214
295,2	0,092	17,9	Pb-214
258,8	0,004	0,6	Pb-214
241,9	0,037	7,0	Pb-214
186,0	0,019	3,4	Ra-226
185,7	0,012	-	U -235
92,8	0,017	4,0	Th-234
92,3	0,015	-	Th-234
63,3	0,028	3,5	Th-234
TOTAL	1,000	190,2	
			(J.Mahavir,1979/Beck1972)



Slika 35

Energije gama zračenja emitovane iz izotopa uranske serije ispitivane su i opisane od strane mnogih istraživača. Najpotpunija tabela je data od strane Beka (1972.) i Lederera (1978.) **Bek daje 75 linija za U-238 za energije između 10 KeV i 2448 KeV** (tabela XVI) što daje u totalu 2,64 fotona po dezintegraciji.

Za U-235 prema Ledereru postoje 22 linije za energije između 26 KeV i 832 KeV sa 1,87 fotona po dezintegraciji. Izotop urana-235 nije od koristi za primenu pri AGS ispitivanjima zbog malog raspona i niskih energija gama zračenja.

Treba uočiti da najveći broj energetskih linija korisnih i upotrebljivih pri geološkim i ekološkim razmatranjima pripada, u uranskoj seriji, izotopu Bi-214. To je razlog što je radioaktivna ravnoteža tako značajna u geofizičkim ispitivanjima odnosno detektovanju gama radijacjie.

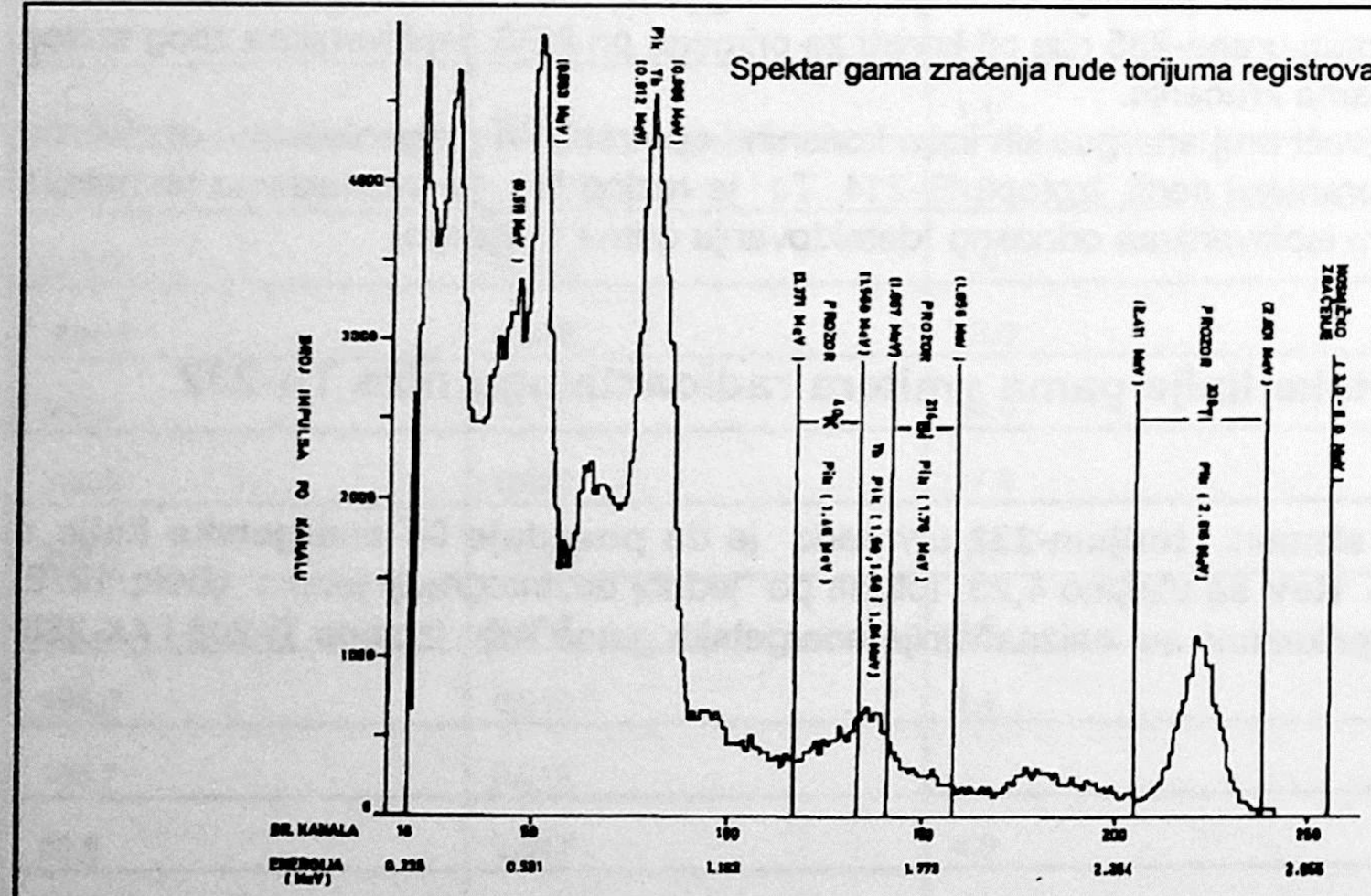
19.1.3. Energetske linije gama emitera radioaktivnog niza Th-232

Za radioaktivan element **torijum-232** utvrđeno je da **poseduje 94 energetske linije u intervalu od 10 do 2615 KeV** sa ukupno 4,23 fotona po jednoj dezintegraciji jezgra (Bek, 1972) Na Tabeli XVII i slici 36 prikazane su najznačajnije energetske gama linije izotopa Tl-208 i Ac-228.

TABELA XVII

ENERGIJA (KeV)	RELATIVNI INTENZITET	APSOLUTNI INTENZITET/100DEZ	IZOTOP PREDAK
2614,5	0,145	35,9	TI-208
1587,9	0,015	4,6	Ac-228
968,9	0,073	23,0	Ac-228
911,1	0,121	29,0	Ac-228
860,5	0,017	4,7	TI-208
794,8	0,020	4,9	Ac-228
727,3	0,027	7,0	Bi-212
583,1	0,125	30,0	TI-208
510,7	0,033	9,0	TI-208
463,0	0,019	4,7	Ac-228
338,4	0,050	12,3	Ac-228
270,3	0,016	3,8	Ac-228
238,6	0,179	45,0	Pb-212
209,4	0,019	4,1	Ac-228
129,1	0,012	2,5	Ac-228
84,4	0,064	44,0	Th-228
			(J.Mahavir 1979/Beck,1972)

Spektar gama zračenja rude torijuma registrovan u laboratoriji



GEOMETRICS 1977.

Značajno je da se najjači prirodni gama emiter javlja u torijumskoj seriji, kod izotopa Ti-208, sa energijom 2614.5 KeV.

20.0. GEOLOŠKE PRETPOSTAVKE PRIMENE METODE AEROGAMA SPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA

Kada govorimo o prirodnoj radioaktivnosti stena kao o fenomenu koji se javlja pri aerogeofizičkim istraživanjima najčešće mislimo na one radioaktivne izotope koji postoje u prirodi, a koji emituju gama zračenje. Zbog toga smo upućeni na proučavanje tri radioaktivna niza, ili familije: niz **URANA-238, URANA-235 I TORIJUMA-232.**

Poznato je da preko 20 prirodno radioaktivnih izotopa, udruženih sa svojim familijama, egzistiira u Zemljinoj kori. U prirodnom kalijumu postoji 0,011% izotopa kalijuma-40, koji ima šemu raspadanja koja je prikazana na tabeli II. Radioaktivni elementi uranske i torijumske serije i kalijum-40 uvek su prisutni u magmatskim stenama. Generalno uran je prisutan u magmatskim stenama u količinama od nekoliko grama po toni (ppm), a torijuma ima približno tri puta više. Prirodna radioaktivnost stena raste od bazičnih ka kiselim stenama.

U Zemljinoj kori nalazi se oko 2,6% kalijuma, što je relativno visok sadržaj.

U sedimentnim stenama odnos urana i torijuma (U/Th) je, takođe tri.

Prirodne koncentracije urana mogu nastati pri magmatskim, sedimentnim, metamorfnim i hipergenim procesima sa čim u vezi je i odgovarajuće pojavljivanje ležišta urana.

Ovde je osnovno pitanje forme prenosa urana pri opisanim procesima.

Pri visoko temperaturnim magmatskim procesima karakterističnim za obrazovanje pegmatita, uran izomorfno pomešan sa torijumom, ulazi u sastav mnogih minerala ili se javlja dispergovan u drugim, pretežno bojenim, mineralima. U pegmatitima uran se često javlja sa retkim zemljama, što se objašnjava sličnošću elektronskog sklopa atoma. Najveće koncentracije urana u magmatskim rastopima javljaju se u poznom stadijumu, što je uslovljeno geohemijskom prirodom urana.

20.1. Geološki tipovi uranskih ležišta

Saglasno relaciji: STENA-PROCES FORMIRANJA izdvojene su dve grupe ležišta urana:

1. S I N G E N E T S K A G R U P A, kod koje proces formiranja rude nastaje istovremeno sa formiranjem stena i

2. E P I G E N E T S K A G R U P A, kod koje proces formiranja rude nastaje kasnije, u već postojećim stenama.

Opisana podela, prikazana je na slici 37, koja predstavlja uprošćenu šemu genetskih procesa koji dovode do formiranja glavnih uranskih ležišta. Različite kombinacije procesa formiranja rude prikazane su u drugoj i trećoj koloni pod nazivom: PROCESI FORMIRANJA RUDE (I) i PROCESI FORMIRANJA RUDE (II). Ove kombinacije daju 14 tipova uranskih ležišta. Prva tri tipa nastala su kao rezultat MAGMATSKIH ili METAMORFNIH procesa, uključujući PEGMATITE, KARBONATE i ALKALNE SIJENITE. Diferencijacija je suštinski proces koji uzrokuje koncentraciju minerala nosilaca urana. Četvrti tip, granitski, je rezultat primarne diferencijacije i daljeg supergenog obogaćenja granitskih stena.

Proces sedimentacije može dovesti do koncentracije minerala nosilaca urana u konglomeratima sa preovlađujućom singenetskom mineralizacijom ili finom disperzijom u različitim vrstama sedimentnih stena. Uranska komponenta može biti kasnije redistribuirana i na taj način dalje koncentrisana.

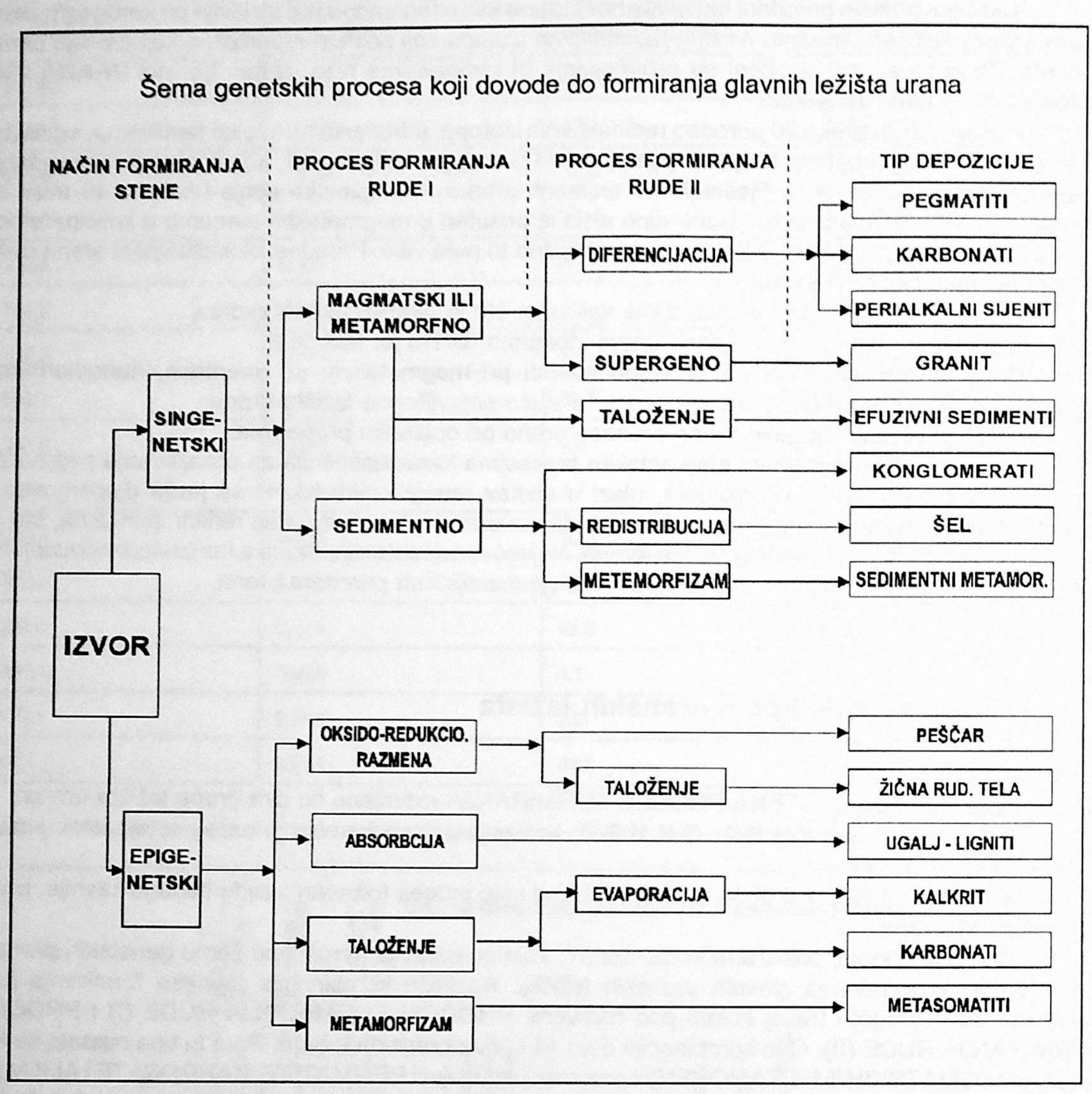
Uran, primarno koncentrisan u sedimentnim stenama, može biti remobilisan i rekoncentrisan u procesu metamorfizma u sedimentno-metamorfnim uranskim ležištima.

Kombinacija vulkanizma i procesa sedimentacije može dovesti do stvaranja VULKANOGENO-SEDIMENTNOG TIPA uranske mineralizacije, kod koje je uran okružen tufovima nastalim u vodenim uslovima.

Fluidi, nosioci urana, mogu nositi nestabilne komponente u oksidacionu zonu sa poroznim sedimentima i deponovati duž GEOHEMIJSKE BARIJERE, kao što se to dogodilo, na primer, u nemarinskim peščarima na zapadu SAD, u kojima su formirana EPIGENETSKA ležišta urana.

ADSORPCIJOM duž oksido-redukcione zone formiraju se uranska ležišta u ugljevima i lignitima.

Uran može biti obaran iz rastvora u rasedima, razlomima, strukturnim ili litološkim zamkama kada se stvaraju ŽIČNI TIPOVI LEŽIŠTA ILI METASOMATSKI TIPOVI LEŽIŠTA.



Slika 37

20.2. Geohemija urana

Uran se u prirodi javlja kao četvorovalentan (U^{4+}) i šestovalentan (U^{6+}), dok je u hemiji poznat i dvo, tro i petovalentan uran.

Četvorovalentan uran je vid u kojem se ovaj metal javlja u endogenim, samo delom u egzogenim, uslovima, stvorenim u redukcionoj sredini. Jonski radijus U^{4+} je 0,97A i sličan je Th^{4+}=0,96A i Ca=0,99 A; otuda vrlo često izomorfno zamenjuje torijum, kalcijum, apatit i fluorit, kao i u pojedinim složenim tantalatima, niobatima, oksidima i fosfatima retkih zemalja. Uran je katkad sposoban da zameni i neke druge četvorovalentne katjone.

Jon četvorovalentnog urana u vodenim rastvorima lako oksidiše pri čemu se stvara uranil jon.

Oksid četvorovalentnog urana ($U^{4+}+O_2$) je teško rastvorljiv u vodi i njegova velika stabilnost u redukcionim uslovima je objašnjenje što uraninit i pehblenda predstavljaju rasprostranjena jedinjenja, nastala u endogenim uslovima.

Silikatne soli četvorovalentnog urana rastvorljive su u jako kiselim sredinama, manje u alkalnim.

Šestovalentni uran (U^{6+}) je osnovni vid pojavljivanja urana u egzogenim uslovima. Javlja se obično u vidu uranil jona $(U^{6+}+O_2)^{2+}$ koji sa kiselinama obrazuje soli, a sa vodom jedinjenja. Uranil jon je stabilan i može se smatrati kao jedan kompleksan jon, koji zadržava svoje karakteristike u mnogim hemijskim transformacijama od rastvora u čvrsto stanje i obrnuto. Jedinjenja šestovalentnog urana se odlikuju lakom rastvorljivošću i velikom migrativnošću u egzogenim uslovima. Posebno su značajni rastvorljivi kompleksi sulfati i karbonati. Sulfati uranila su lako rastvorljivi u vodi.

Rastvorljivost urana u oksidacionoj sredini raste sa porastom sadržaja sulfata, bez većeg uticaja pH. Rastvorljivost uranila raste i sa porastom ukupnog sadržaja karbonata pri čemu je veći efekat kod viših pH. Posebno značajna geohemijska osobina urana je njegova sposobnost da se lako redukuje iz šestovalentnog u četvorovalentno stanje, kako u egzogenim tako i u endogenim uslovima, naročito u prisustvu sumporvodonika.

Za obaranje uranila iz rastvora veliki značaj ima i adsorpcija uranila. Jon uranila lako biva adsorbovan negativno naelektrisanim koloidima. Posebno visoku aktivnost pokazuju bitumijske materije.

U procesu diferencijacije magme uran se u početku vezuje za petrogene minerale feldspat i biotit. Posebno visoke koncentracije urana javljaju se u zadnjim produktima kristalizacije, uključujući tu i pegmatitsku fazu. Značajnije koncentracije urana formiraju se u toku hidrotermalnog stadijuma. U celom tom ciklusu ističe se tesna veza urana i torijuma. Udeo torijuma postepeno opada sa padom temperature i pritiska odnosno udeo torijuma u hidrotermalnom području je daleko niži nego u magmatskoj fazi.

Dosadašnja izučavanja mehanizma prenošenja urana u hidrotermalnom području ukazuju da je tu u osnovi uranil jon koji je jako rastvorljiv i migrativan, i da rastvorljivost šestovalentnog urana u oksidirajućim rastvorima, raste sa udelom sulfata i karbonata.

Najznačajnije koncentracije urana u magmatogenom području stvaraju se u uslovima srednjih temperatura hidrotermalnog područja, u uslovoma relativno malih dubina.

U oksidacionoj zoni, pod uticajem različitih agenasa dolazi do veoma značajnog izlučivanja urana iz primarnih ležišta i uranonosnih stena u prvom redu granitoida. Oksidacioni procesi uzrokuju široku migraciju urana. Rezultat oksidacionih procesa je prelazak urana iz četvorovalentne u šestovalentnu formu i obrazovanje, sa drugim elementima, lako rastvorljivih jedinjenja što dovodi do migracije urana u površinske delove litosfere.

21.0. OSNOVNI PRINCIPI INTERPRETACIJE REZULTATA AGS ISPITIVANJA PRIRODNIH RADIOAKTIVNIH IZOTOPA

Metoda AGS ispitivanja pruža informaciju o rasporedu radioaktivnih elemenata (K, U i Th) na Zemljinoj površini. Sadržaj radioaktivnih elemenata u stenama litosfere je posledica geohemijskih procesa, koji su opisani u prethodnom poglavlju, a koji su se događali u geološkoj istoriji Zemlje. Registrovanjem celog spektra gama zračenja i njegovom analizom mogu se odrediti anomalije intenziteta gama zračenja i sadržaja radioaktivnih elemenata u tlu. Ove anomalije, u procesu interpretacije, objašnjavamo različitim geološkim procesima.

Da bi smo se približili egzaktnoj interpretaciji neophodno je dobro poznavanje geoloških prilika ispitivanog terena, geohemijskih karakteristika posmatranih prostora i radioaktivnih elemenata i minerala, normalnog polja gama zračenja, anomalija gama zračenja i mogućih uzročnika.

Pri istraživanju različitih mineralnih sirovina potrebno je formirati različite kriterijume koji se koriste pri interpretaciji. Tako, na primer, pri istraživanju urana u sedimentnim stenama mora se voditi računa o mogućem izvoru radioaktivnih minerala, što će biti prikazano u delu o istraživanju planine Kukavice, gde je to granitska masa plutona Vlajne, koja je po svojoj prirodi bogata radioaktivnim mineralima, iz koje bi pod povoljnim uslovima uran mogao biti izlužen, kao rastvorljiv, i oboren u nekoj geohemijskoj barijeri u okolnom sedimentnim stenama. Anomalije gama zračenja ukazuju na položaj takve barijere. Sa druge strane pri istraživanju urana u magmatskim stenama obraća se pažnja na one stene koje su po svojoj prirodi bogate radioaktivnim mineralima. Posebno je važno obratiti pažnju na pružanje rupturnih zona i postojanje anomalija duž njih.

Drugi pristup interpretaciji rezultata AGS ispitivanja je u slučaju kada se istražuje bakar, olovo i cink, zlato, volfram, molibden i dr. koji po svojoj prirodi nisu radioaktivni, ali su praćeni radioaktivnim mineralima. Procesi kalijumske metasomatoze su, takođe, pratioci i indikatori različitih mineralizacija i služe kao kontrolni faktori u toku istraživanja. Registrovanjem anomalija kalijuma u okviru potencijalno rudunosnih zona može se otkriti ležište Cu , Pb-Zn, Mo ,Wo, Au...

Pri istraživanju ležišta boksita prekrivenih tankim sedimentnim pokrivačem, dobijaju se anomalije intenziteta gama zračenja torijuma u sedimentima iznad ležišta, a koji je tu, najverovatnije, dospeo u procesu mehaničkog ili geohemijskog transporta pri kretanju ascedentnih podzemnih voda kroz ležište na svom putu ka površini terena. Pri istraživanju ležišta nafte i gasa metodom AGS ispitivanja određuje se sadržaj urana na površini terena, iznad ležišta, koji je dospeo u nerastvornoj formi, iz oksido-redukcione zone u koju je donet rastvoren sa ugljovodonicima iz ležišta nafte i gasa. Oreoli-pozitivne anomalije sadržaja urana i minimumi, u središtu, ukazuju na postojanje zamke nafte i gasa vertikalno ispod indikacije.

Gustina, pružanje i oblik izolinija dozvoljavaju mogućnost određivanja geoloških granica, granica kontakta različitih magmatskih i sedimentnih stena, pravaca pada nekih geoloških tela, položaj mogućih razlomnih zona duž kojih su cirkulisali hidrotermalni rastvori itd.

Bliska rastojanja izolinija mogu ukazati na oštru geološku i gehemijsku granicu. Poremećaj toka izolinija nekog od parametara gama zračenja duž kontakta nekih vulkanskih i sedimentnih stena može ukazati na različite hidrotermalne izmene i mineralizacije duž eventualnih rasednih zona koje se sa površine terena ne uočavaju.

Pri interpretaciji dobijenih rezultata veliki značaj za donošenje pravih zaključaka imaju različiti odnosi radioaktivnih parametara oblika: U/Th, K/U, K/Th, K*Th/U, K+Th/U i K/Th*U. Posebno je značajan postupak statističke analize podataka koji omogućava da iz velikog broja podataka (100.000 - 1.000.000) izdvojimo anomalije značajne za istraživanja.

22.0. PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU URANA NA PLANINI KUKAVICI

Proučavanjem prirode radioaktivnosti stenskih masa, u okviru regionalnih istraživanja, došlo se do zaključka da su prostori planine Kukavice perspektivni za otkrivanje SINGENETSKIH ležišta urana koja su se mogla stvoriti u granitskim stenama planine Kukavice i okolnim metamorfnim stenama. Takođe je zaključeno da je moguće i formiranje EPIGENETSKIH ležišta urana u tercijarnim tvorevinama koje su formirane u domenu planine Kukavice.

Na primeru rezultata dobijenih AGS ispitivanjima planine Kukavice prikazaćemo mogućnost same metode i prednost dokumentacije koju je moguće dobiti sad u poređenju sa radiometrijskim ispitivanjima iz 1963. godine.

Sa ciljem brzog i efikasnog ispitivanja terena označenog kao perspektivan za otkrivanje ležišta urana, prikazanog na preglednoj karti (slika 38), izvršena su aeroradiometrijska ispitivanja 1963. godine iz helikoptera i dobijeni rezultati čiji je deo prikazan na slici 39. Prilikom tih ispitivanja otkrivene su anomalije ukupnog gama zračenja označene brojevima: 32, 33 i 42. Anomalije su u to vreme određivane na osnovi geoloških kriterijuma i povećanja intenziteta ukupnog gama zračenja koje je registrovano ispitivanjima. Jasno je da su istraživači bili ograničeni tehnološkim nivoom tadašnjih instrumenata. Ako se tome doda relativno niži stepen istraženosti geoloških prilika ispitivanih terena može se zaključiti da su mogućnosti interpretacije bile ograničene. U to vreme jedino je bilo moguće od dokumentacije uraditi kartu ukupnog gama zračenja ili dijagrame za profile ispitivanja. Statističku obradu, u principu, bilo je moguće raditi ali u to vreme to nije imalo nikakvog smisla, jer bi takav rad zahtevao dug vremenski period.

Napredak tehnologije omogućio nam je da dođemo do daleko većih i kompletnijih saznanja kroz primenu metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja.

Isti prostor ponovo je ispitivan primenom metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja u toku 1986. godine. Rezultati tih ispitivanja prikazani su na slikama 40-48, koje su urađene za isti segment terena, ali ovog puta na nov način , po algoritmu koji je razrađen u LIT-38 i LIT-40.

Podaci ispitivanja metodom aerogamaspektrometrije omogućili su nam da izdvojimo statističke anomalije intenziteta radioaktivnog gama zračenja urana i torijuma (slike 45 i 46). Na kartama su izdvojene tačke na kojima je registrovan intenzitet gama zračenja viši za dve ili tri standardne devijacije veće od sračunate srednje vrednosti za odgovarajuću geološku sredinu.

Podaci su analizirani u KVALITATIVNOM smislu, a prikazani su izolinijama intenziteta ukupnog gama zračenja, intenziteta gama zračenja K, U, Th (slike 40,41,42 i 43) i izolinijama odnosa intenziteta gama zračenja U/Th (slika 44).

Posebna prednost i mogućnost metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja prikazana je na slici 47 ("INTERPRETACIONOJ" karti) na koijoj su analizirani, istovremeno, podaci gama zračenja urana (U) i odnosa U/Th i U/K, od kojih svaki može da ima tri različite vrednosti ($m+1\sigma$, $m+2\sigma$ i $m+3\sigma$), tako što je formirano 27 različitih međusobnih kombinacija analiziranih parametara. Najpovoljnija kombinacija, čiji je stepen perspektivnosti prvog reda, označena je sa simbolima AAA. To znači da je na merenoj tački intenzitet gama zračenja urana veći od intenziteta gama zračenja torijuma i kalijuma. Dakle na takvoj tački postoji anomalija intenziteta radioaktivnog gama zračenja urana, odnosno, sadržaja urana u tlu što nas upućuje na zaključak da na merenoj tački postoji mogućnost otkrivanja rudnih ležišta urana. Ostale kombinacije ukazuju na niži stepen perspektivnosti, do najnižeg, označenog simbolima CCC .

Korišćenjem saznanja o perspektivnosti geoloških formacija, podataka obrade aerogama-spektrometrijskih ispitivanja i statističke analize i sintezom svih relevantnih podataka urađena je "SINTEZNA" karta (slika 48) na kojoj su izdvojene površine sa anomalijama uranskog porekla, označene arapskim brojevima (B1, B2, B3, B4 i B8) i anomalije torijumskog porekla označene rimskim brojevima (BXI, BXVI i BXVIII).

Lokalnost prikazana na slikama 38-48 u širem smislu pripada jezgru Srpsko-makedonske mase, a zahvata i dislokaciju Veternice, domu Vlajne i zonu Vrvi Kobile i tercijarne sedimente.

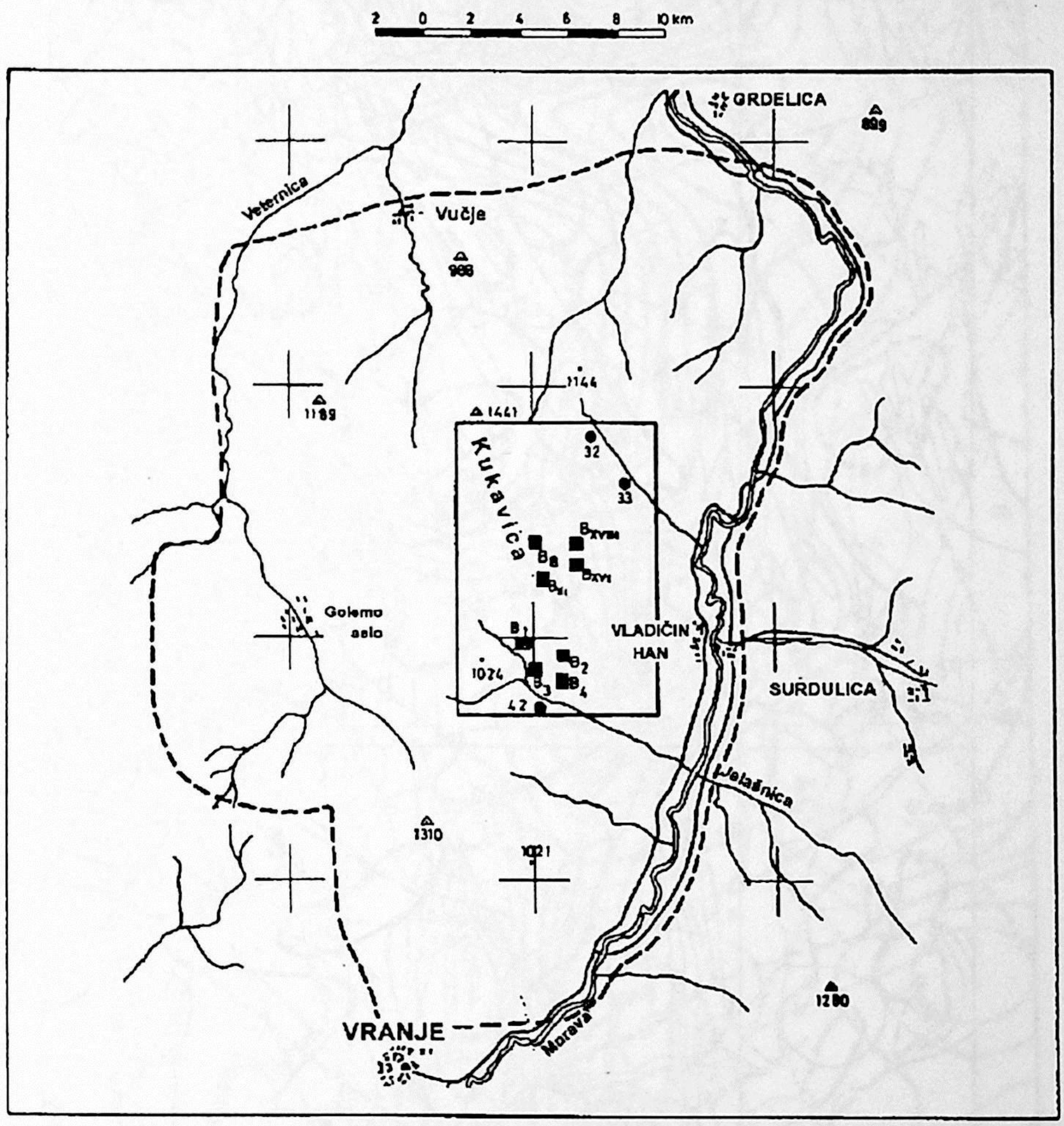
Duž zone Vrvi Kobile, koja razdvaja donji od gornjeg kompleksa srpsko-makedonske mase utisnut je pluton Vlajne (Dimitrijević M. 1965.). Registrovane anomalije intenziteta gama zračenja urana B_1, B_2, B_8 i anomalija torijuma B_{XI}, na tom području, ukazuju na moguća singenetska ležišta urana i torijuma nastala na kontaktu granitskih stena i kristalastih škriljaca zone Vrvi Kobile.

Druga grupa anomalija registrovana je u gnajsevima (leptinolitima i mikašistima) zone Vrvi Kobile (B_4, B_{XVIII} i B_{XVI}) verovatno nastala kao posledica proboja granitske mase duž rasednih zona u toku utiskivanja plutona Vlajne.

Treća vrsta anomalija je registrovana u kvartarnim tvorevinama bazena Poljanice (B_2) verovatno je posledica formiranja orudnjenja urana u sedimentima u nekoj geohemijskoj barijeri do koje su došli rastvori bogati rastvorenim jedinjenjima urana.

Izdvojene anomalije u narednoj fazi istraživanja obrađuju se terestričkim metodama u okviru provere anomalija, poludetaljnih ili detaljnih ispitivanja.

PREGLEDNA KARTA
AERORADIOMETRIJSKI (1963) I AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI (1986) ISPITIVANOG TETENA PLANINE KUKAVICE



TEREN AERORADIOMETRIJSKI I AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI ISPITIVAN 1963. I 1986. god.

POZICIJA POVRŠINE ISPITIVANOG TERENA PRIKAZANOG NA SLIKAMA 39-48

33 ANOMALIJE AERORADIOMETRIJSKIH ISPITIVANJA (1963)

Bxvi ANOMALIJE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA (1986)

Slika 38

KARTA INTENZITETA UKUPNOG GAMA ZRAČENJA PLANINE KUKAVICE 1963. GOD.

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(EKVIDISTANCA 2 μR/h)



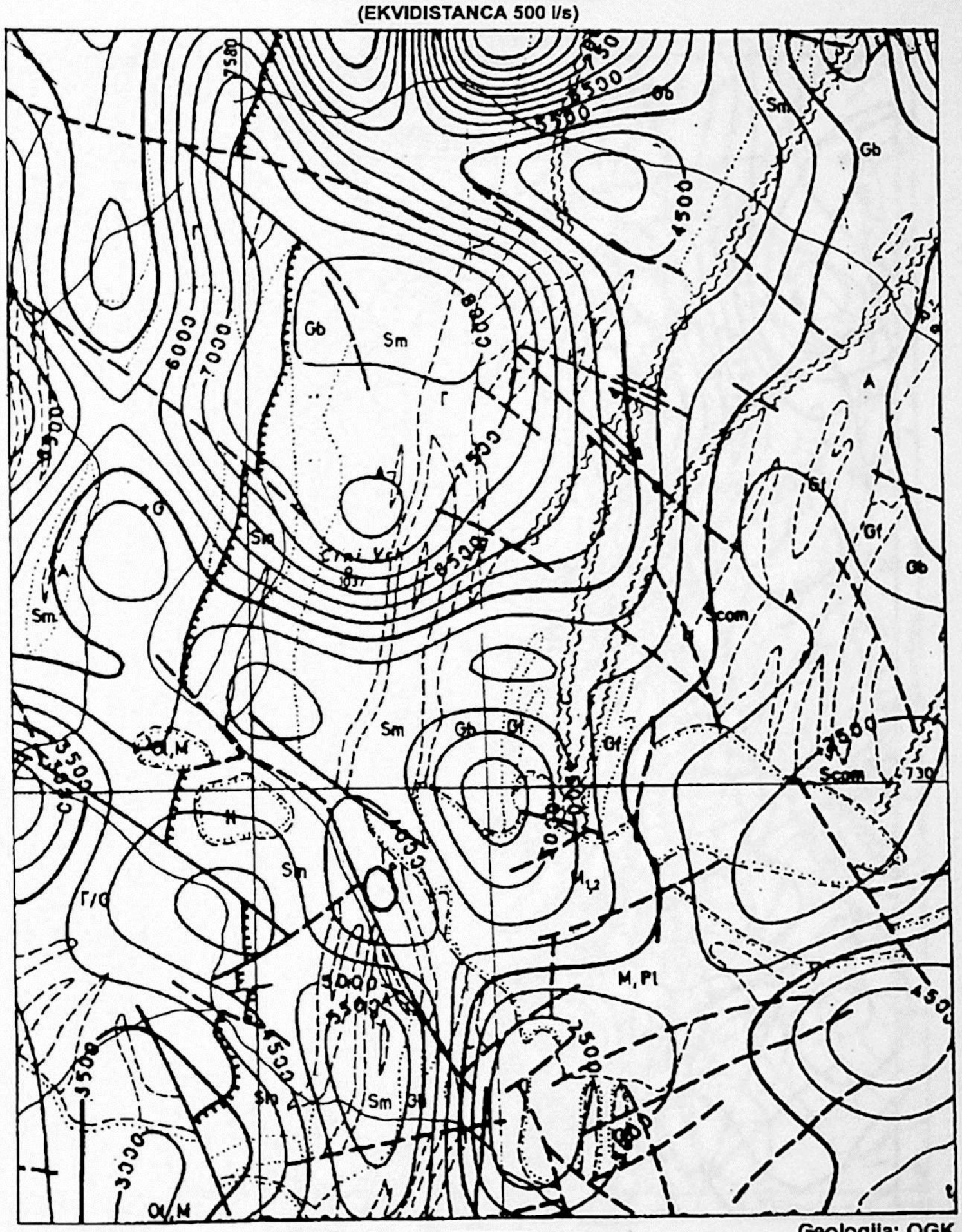
Ng	NEOGEN (PESKOVI I GLINE)
Sma	HLORIT-MUSKOVIT-ALBITSKI ŠKRILJCI
GF	MUSKOVIT-HLORITSKI ŠKRILJCI
Prs	MIKAŠISTI
$Prgn_1$	PARAGNAJSEVI I LEPTINOLITI
Prgn/G	GNAJSEVI ČUKLJENIKA
$Pram_1$	AMFIBOLSKE STENE
Fn	LEPTINOLITI, MIKAŠISTI I MILONITSKI FILONITI
yk	SITNOZRNE GRANITSKE STENE KUKAVICE
	RASEDI (UTVRĐENI I PREDPOSTAVLJENI)
8 10	IZOLINIJE GAMA ZRAČENJA (μR/h)
	ANOMALIJE GAMA ZRAČENJA

Slika 39

KARTA INTENZITETA UKUPNOG GAMA ZRAČENJA PLANINE KUKAVICE 1986. GOD.

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(EKVIDISTANCA 500 I/s)



Geologija: OGK

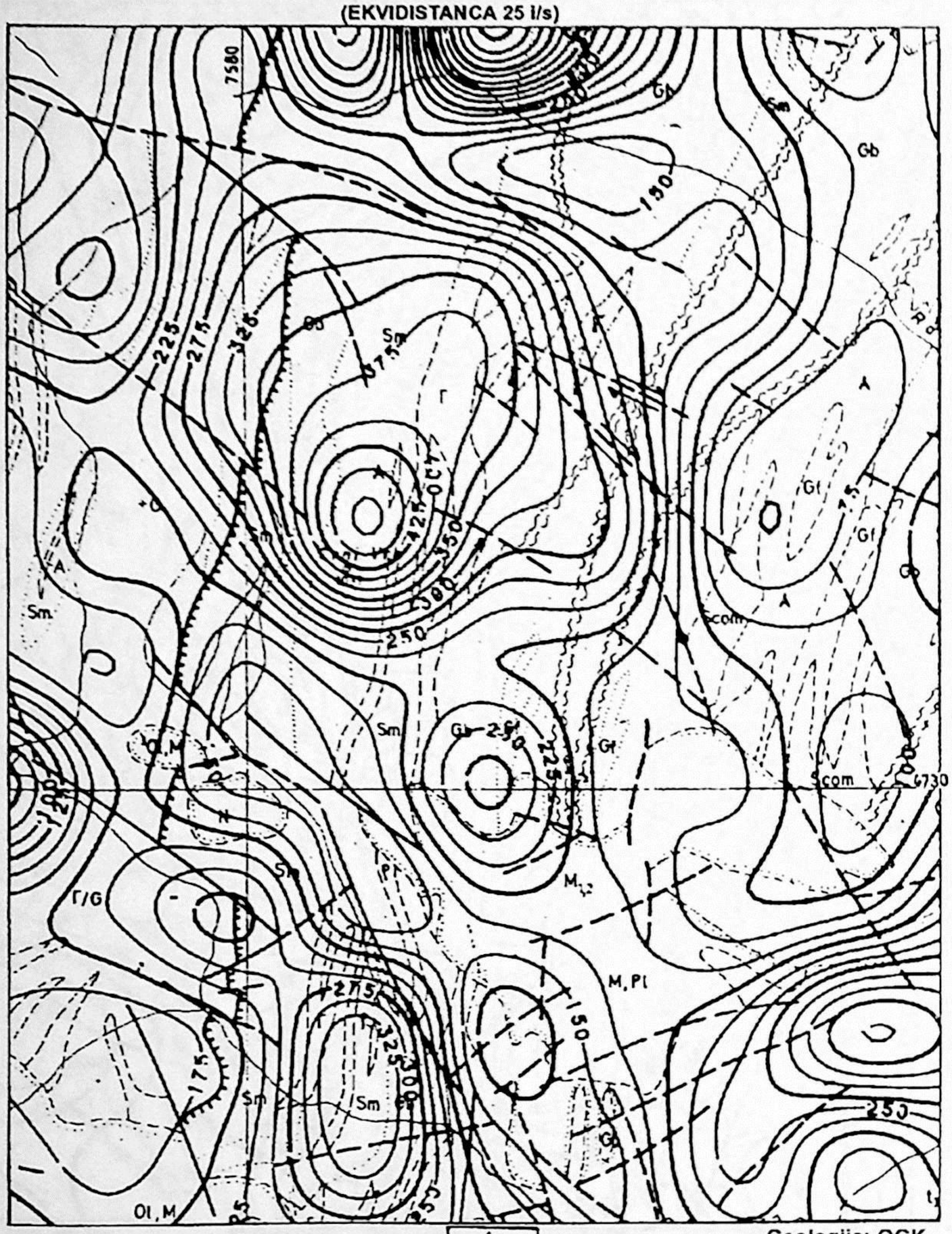
MPl	GLINOVITO PESKOVITA SERIJA
N	NEOGEN VRANJSKE KOTLINE
Ol M	BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI I LAPORCI
Γ	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE
Γ/G	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLAĐUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE
G/f	LEUKOGNAJS
Sm	LEPTINOLITI I MIKAŠISTI
A	AMFIBOLITI
Gb	BIOTITSKI GNAJS
Scom	HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS
	UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA
	PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
	EROZIONA ILI TEKTONSKO-EROZIONA GRANICA.
	RASEDNA ZONA
3000 3500	IZOLINIJE UKUPNOG RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA

Slika 40

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA PLANINE KUKAVICE

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(EKVIDISTANCA 25 I/s)



Geologija: OGK

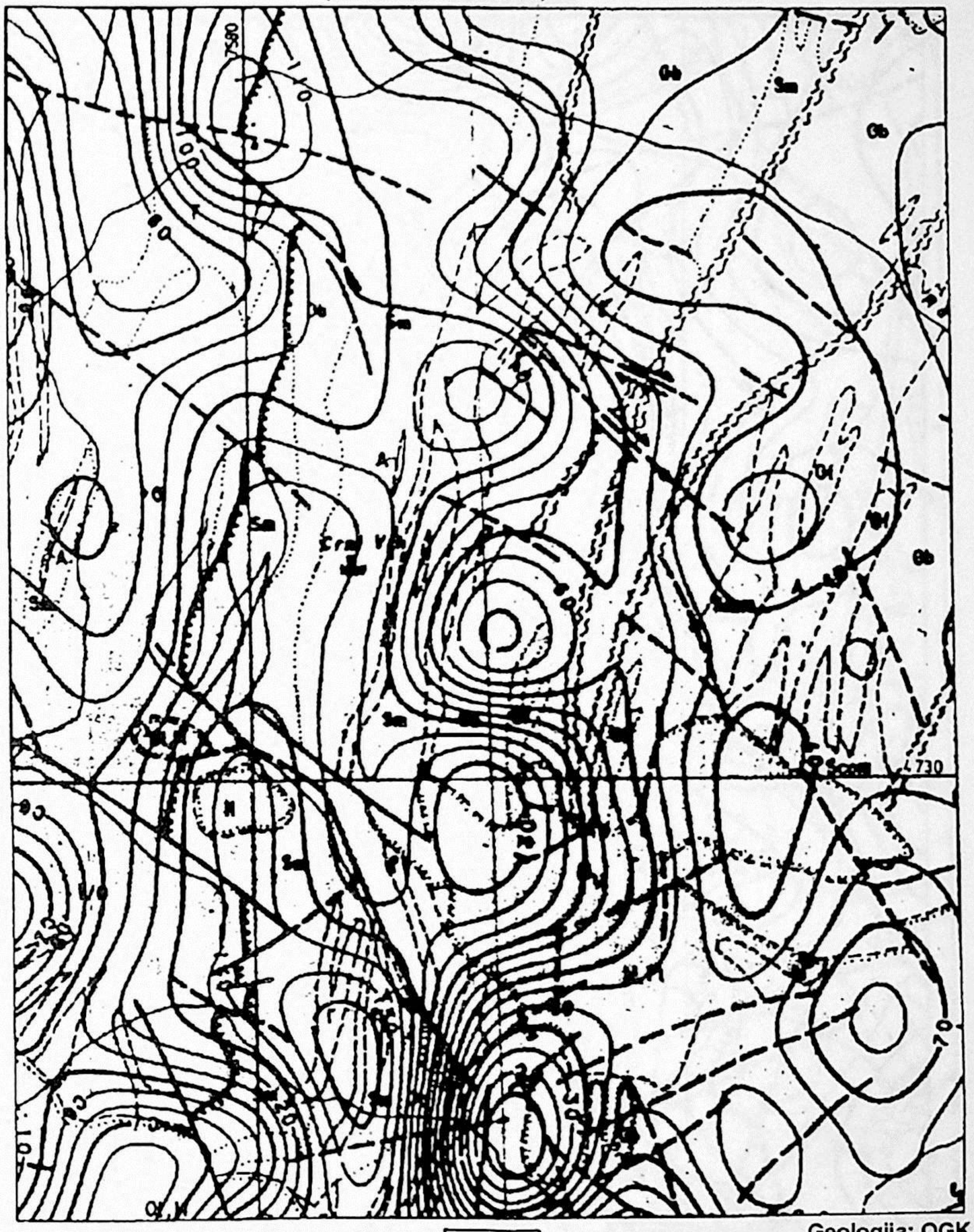
MPl	GLINOVITO PESKOVITA SERIJA
N	NEOGEN VRANJSKE KOTLINE
OlM	BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI I LAPORCI
γ	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE
γ/G	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLADUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE
G/f	LEUKOGNAJS
Sm	LEPTINOLITI I MIKAŠISTI
A	AMFIBOLITI
Gb	BIOTITSKI GNAJS
Scom	HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS
	UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA
	PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
	EROZIONA ILI TEKTONSKO-EROZIONA GRANICA
	RASEDNA ZONA
50 75	IZOLINIJE RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA KALIJUMA (I/s)

Slika 41

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA URANA PLANINE KUKAVICE

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(EKVIDISTANCA 10 i/s)



Geologija: OGK

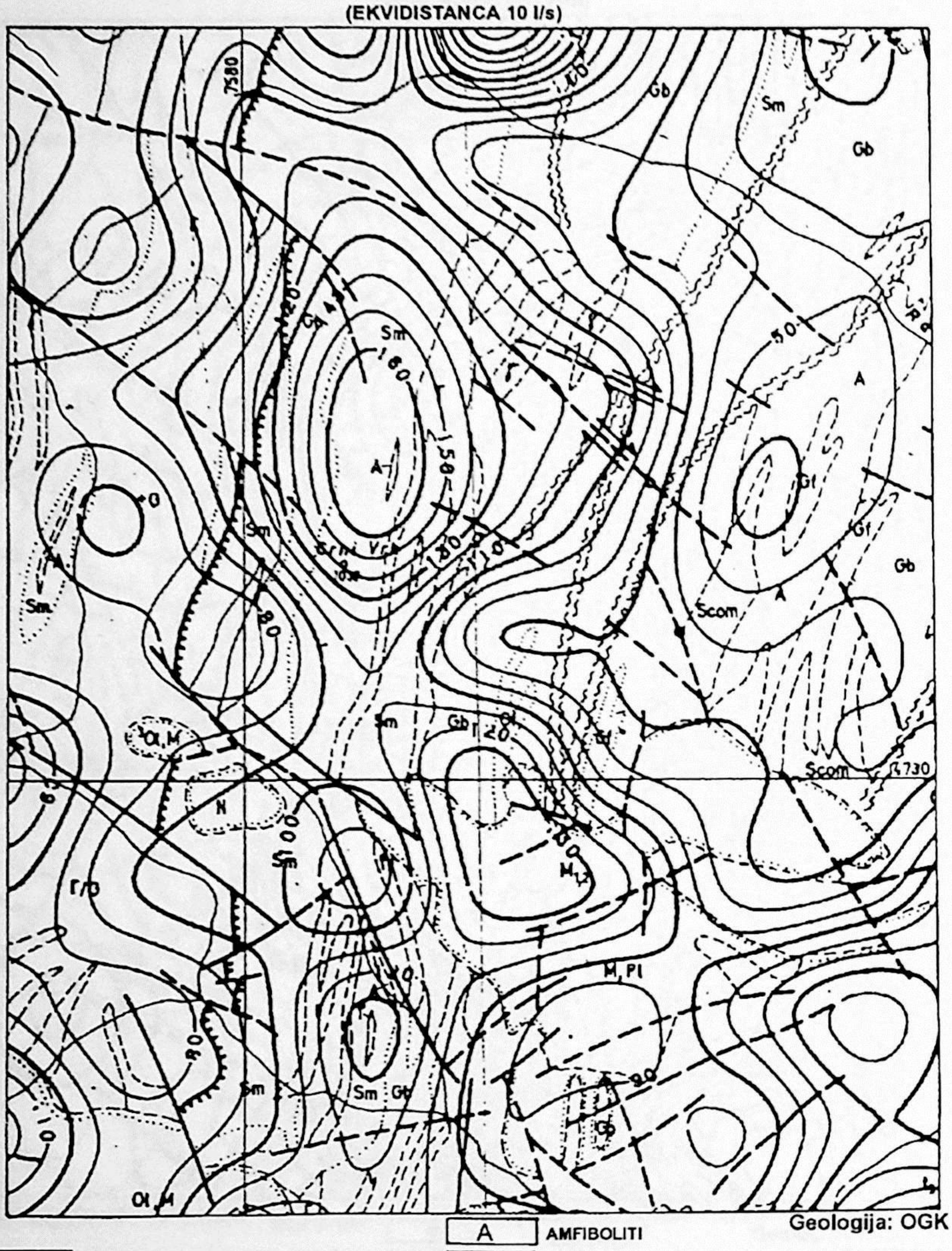
MPl	GLINOVITO PESKOVITA SERIJA
N	NEOGEN VRANJSKE KOTLINE
OIM	BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI I LAPORCI
γ	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE
γ/G	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLAĐUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE
G/f	LEUKOGNAJS
Sm	LEPTINOLITI I MIKAŠISTI
A	AMFIBOLITI
Gb	BIOTITSKI GNAJS
Scom	HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS
	UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA
	PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
	EROZIONA ILI TEKTONSKO-EROZIONA GRANICA
	RASEDNA ZONA
60 70	IZOLINIJE RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA URANA (i/s)

Slika 42

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA TORIJUMA PLANINE KUKAVICE

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(EKVIDISTANCA 10 I/s)



Geologija: OGK

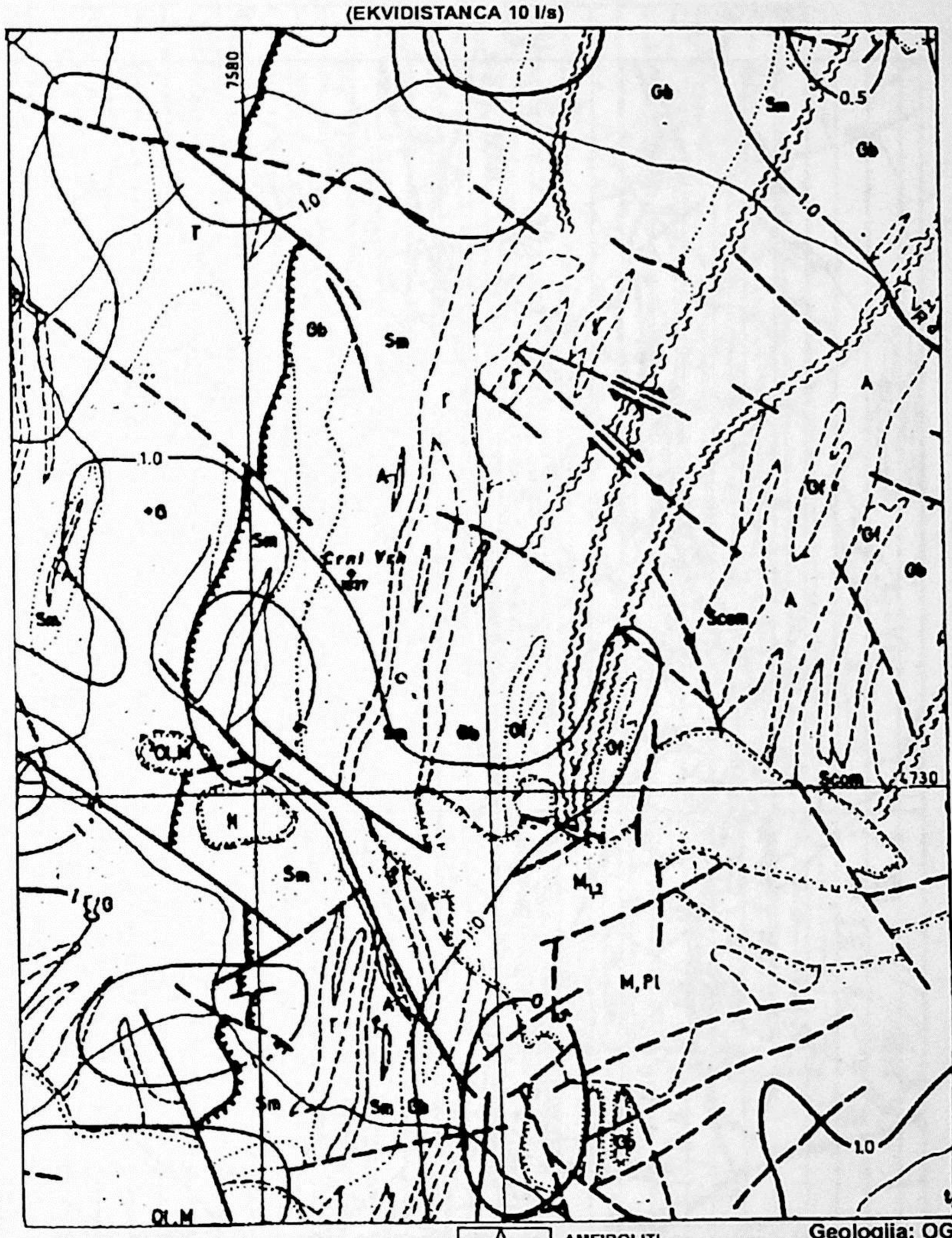
MPl GLINOVITO PESKOVITA SERIJA	A AMFIBOLITI
N NEOGEN VRANJSKE KOTLINE	Gb BIOTITSKI GNAJS
OlM BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI I LAPORCI	Scom HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS
γ SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE	UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA
γ/G SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLAĐUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE	PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
G/f LEUKOGNAJS	EROZIONA ILI TEKTONSKO-EROZIONA GRANICA
Sm LEPTINOLITI I MIKAŠISTI	RASEDNA ZONA
	150 160 IZOLINIJE RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA TORIJUMA (i/s)

Slika 43

KARTA ODNOSA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA URANA I TORIJUMA PLANINE KUKAVICE

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(EKVIDISTANCA 10 l/s)



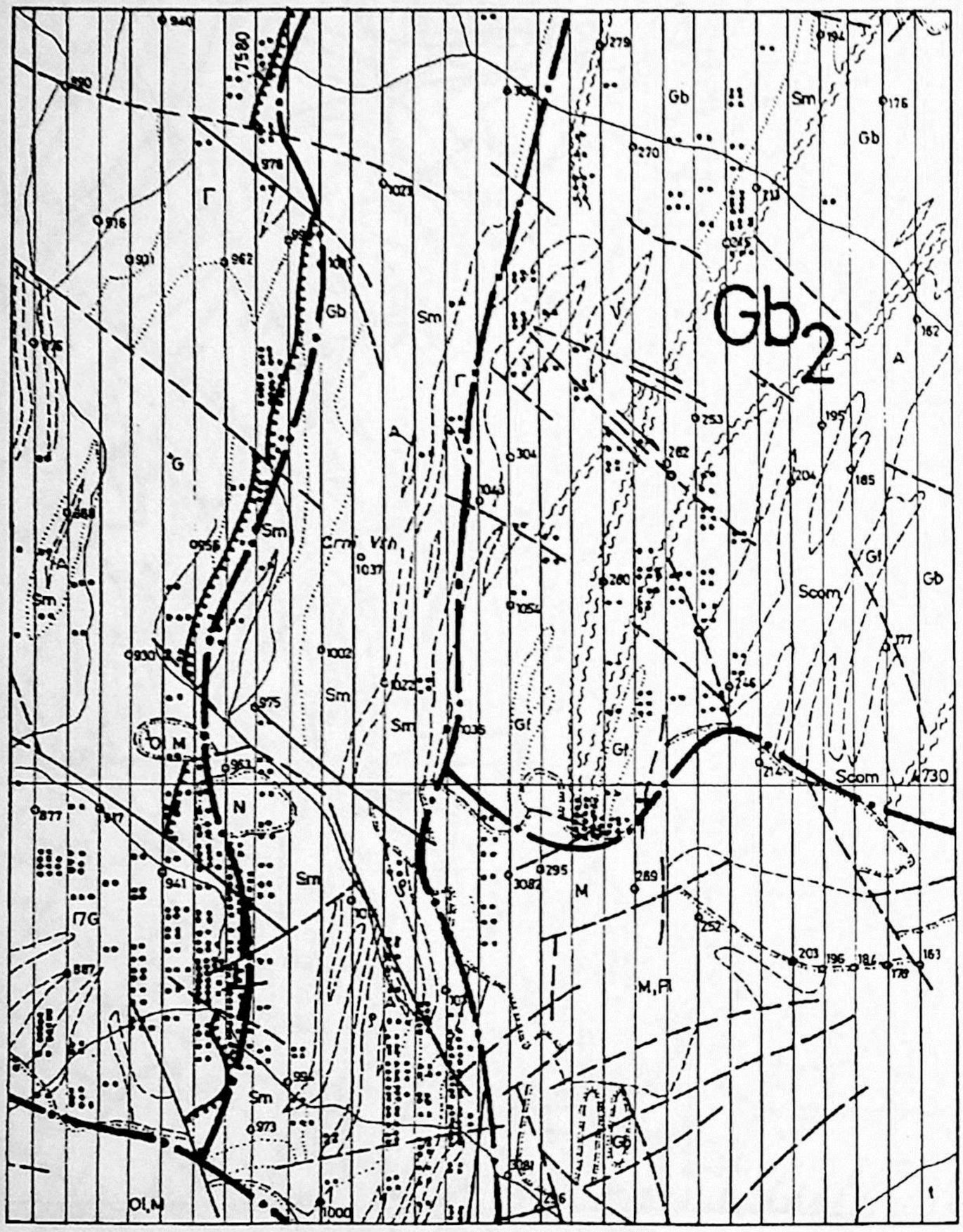
Geologija: OGK

MPl GLINOVITO PESKOVITA SERIJA	A AMFIBOLITI
N NEOGEN VRANJSKE KOTLINE	Gb BIOTITSKI GNAJS
OlM BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI I LAPORCI	Scom HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS
γ SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE	UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA
γ/G SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLADUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE	PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
G/f LEUKOGNAJS	EROZIONA ILI TEKTONSKO-EROZIONA GRANICA
Sm LEPTINOLITI I MIKAŠISTI	RASEDNA ZONA
	0.5 / 1 IZOLINIJE RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA TORIJUMA (l/s)

Slika 44

KARTA STATISTIČKIH ANOMALIJA URANA
PLANINE KUKAVICE

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

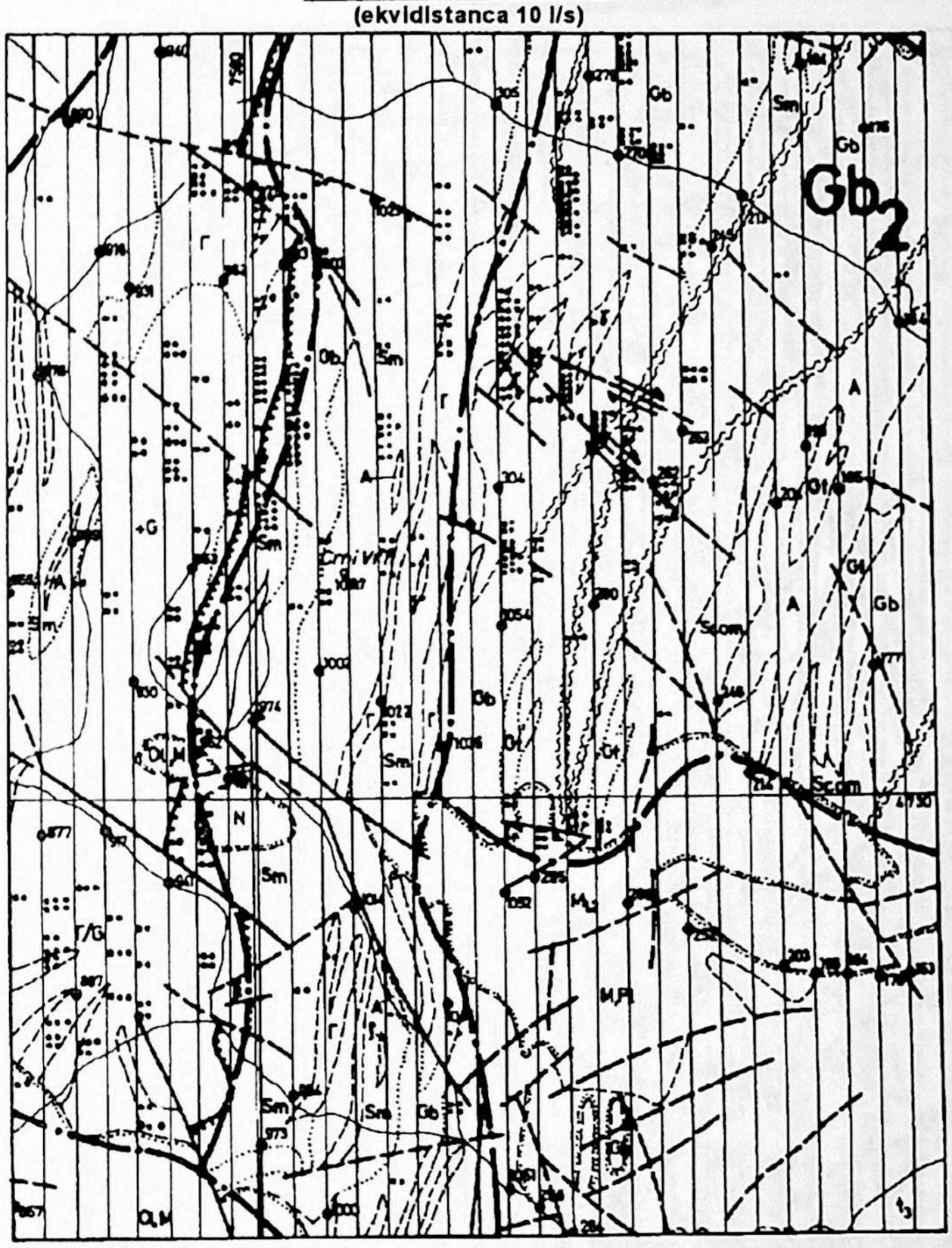

Gb
Sm
Gb2
Scom
Gf
Gf
Gb
Sm
Sm
Sm
Sm
Sm
Sm
Sm
Scom
A730
M
N
M
M,Pl
Ol,N
Crm
Vsh
A
G
P
L
T
M
N
Gb
Sm
Gf
Gb
Scom
Gf
Gb
Sm
Gf
Gb
Sm
Gf
Gb
Sm

GEOINSTITUT - BIBLIOTEKA * BEOGRAD

KARTA STATISTIČKIH ANOMALIJA TORIJUMA PLANINE KUKAVICE

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(ekvidistanca 10 l/s)



Geologija: OGK

MPI	GLINOVITO PESKOVITA SERIJA
N	NEOGEN VRANJSKE KOTLINE
OIM	BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI I LAPORCI
γ	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE
F/G	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLAĐUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE
G/f	LEUKOGNAJS
Sm	LEPTINOLITI I MIKAŠISTI
A	AMFIBOLITI
Gb	BIOTITSKI GNAJS
Scom	HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS

UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA

PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA

EROZIONA ILI TEKTONSKO-EROZIONA GRANICA

RASEDNA ZONA

176 — 177 PROFILI AGS ISPITIVANJA SA BROJEVIMA FOTO SNIMAKA

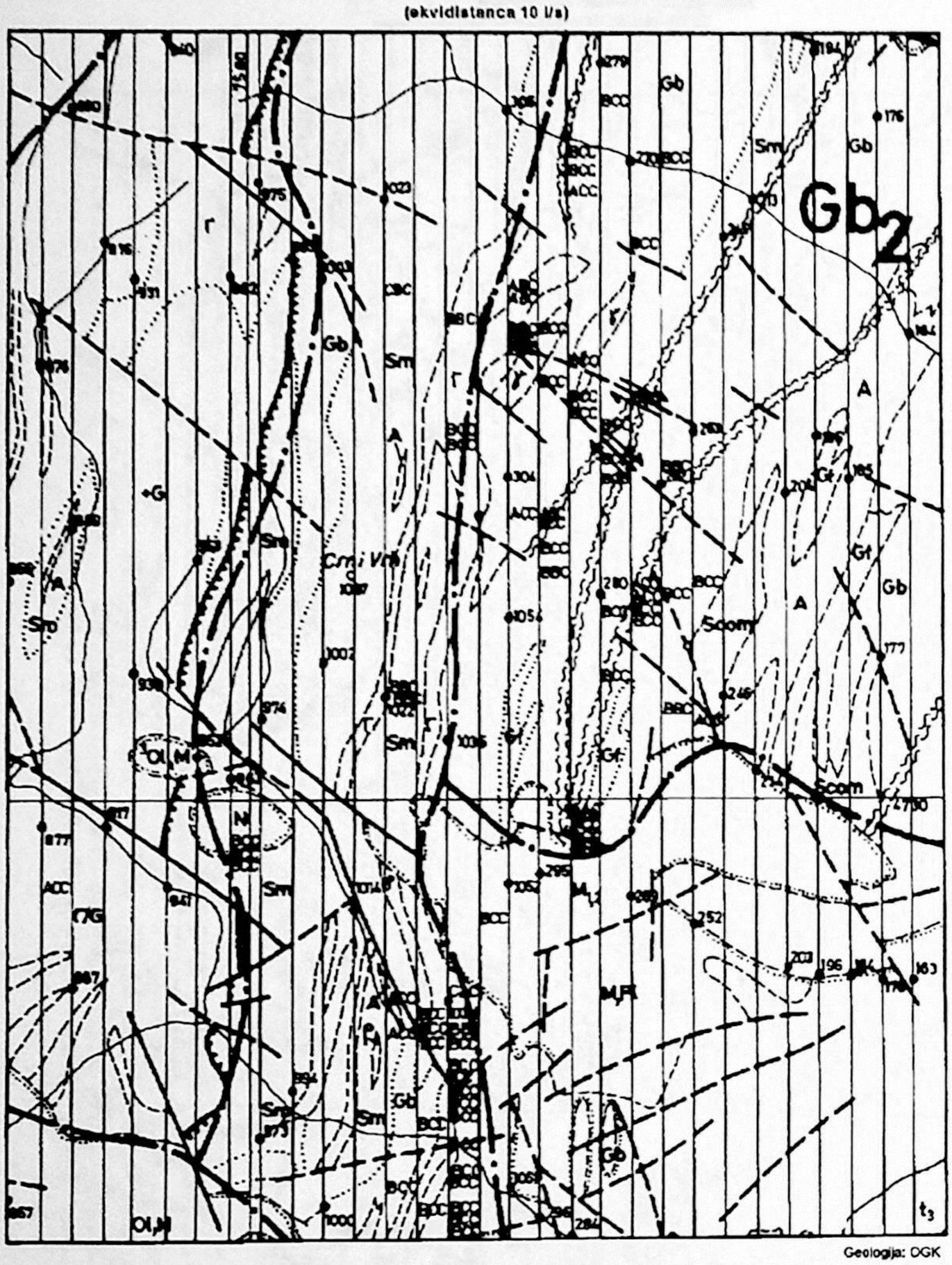
MERENE VREDNOSTI GAMA ZRAČENJA SA INTENZITETOM VEĆIM OD 2 ILI 3 STANDARDNE DEVIJACIJE OD SRAČUNATE SREDNJE VREDNOSTI ZA POJEDINE GEOLOŠKE SREDINE

Slika 46

INTERPRETACIONA KARTA REZULTATA AGS ISPITIVANJA PLANINE KUKAVICE

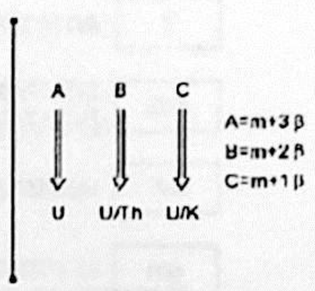
0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(ekvidistanca 10 l/s)



Geologija: OGK

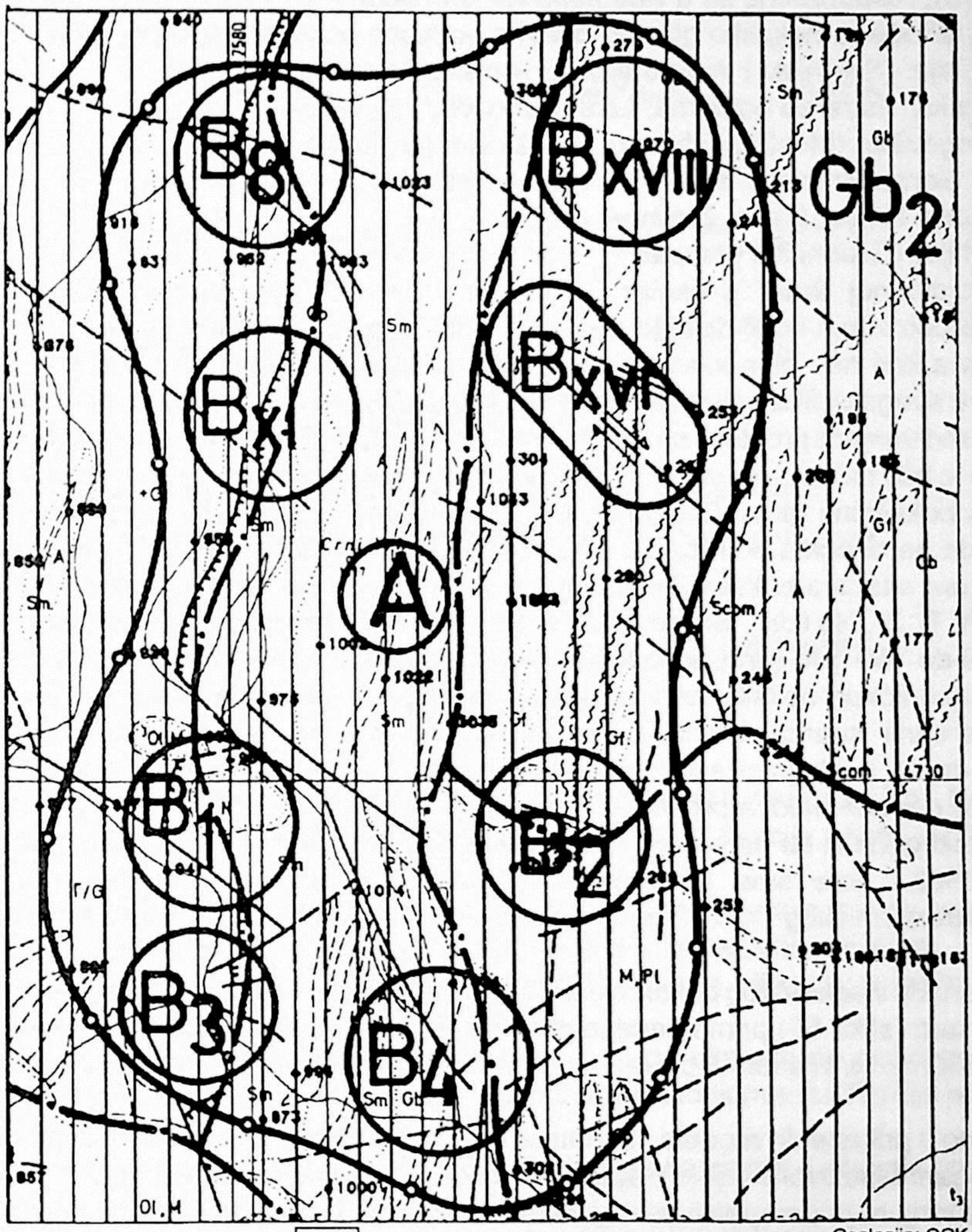
MPI GLINCVITO PESKOVITA SERIJA	Gb BIOTITSKI GNAJS
N NEOGEN VRANJSKE KOTLINE	Scom HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS
CBM BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI I LAPORCI	UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA
γ SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE	PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
F/G SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLADUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE	EROZIONA ILI TEKTONSKO-EROZIONA GRANICA
Gf LEUKOGNAJS	RASEDNA ZONA
Sm LEPTINOLITI I MIKAŠISTI	Gb_2 SIMBOL GEOLOŠKE SREDINE IZDVOJENE ZA STATISTIČKU ANALIZU
A AMFIBOLITI	



Slika 47

SINTEZNA KARTA AGS ISPITIVANJA PLANINE KUKAVICE

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km



Geologija: OGK

MPI	GLINOVITO PESKOVITA SERIJA	A	AMFIBOLITI
N	NEOGEN VRANJSKE KOTLINE	Gb	MUSKOVITSKI GNAJS
OIM	BITUMINOZNI GLINCI, PEŠČARI	Scom	HLORIT MUSKOVITSKI GNAJS
γ	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE		UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA
γ/G	SITNOZRNI GRANITOIDI KUKAVICE SA PREOVLADUJUĆIM GRANITOIDIMA VLAJNE		PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
G/f	LEUKOGNAJS		EROZIONA ILI TEKTONSKA GRANICA
Sm	LEPTINOLITI I MIKAŠISTI		RASEDNA ZONA

GRANICE VEĆIH ANOMALIJSKIH POVRŠINA

B_{1-8} ANOMALIJE GAMA RADIOAKTIVNOSTI URANSKOG POREKLA

$B_{XI-XVIII}$ ANOMALIJE GAMA RADIOAKTIVNOSTI TORONSKOG POREKLA

A ANOMALIJSKA POVRŠINA PRVOG PRIORITETA

GRANICE GEOLOŠKIH FORMACIJA IZDVOJENIH ZA STATISTIČKU ANALIZU

Slika 48

23.0. PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU BOKSITA VLASENICE

Boksiti u Jugoslaviji poznati su već skoro stotinu godina. Intenzivnije proučavanje i istraživanje tih boksita, međutim, započelo je tek od 1925.god. kada je porastao interes za njihovu eksploataciju.

Pojave i ležišta boksita prostiru se kroz Dinaride od Slovenije i Istre do Crne Gore i Kosova (Grubić A. 1975), raspoređene su u vidu nekoliko neprekidnih zona, koje se pružaju pravca SZ-JI. One su grupisani, takođe, u nekoliko glavnih odavno poznatih boksitonosnih područja. To su:

-Slovenija: (Savinjski i Julijski Alpi, Dolenjsko, Notrenjsko i Kras),
-Hrvatska: (Istra sa ostrvima, Lika, Dalmacija i Kordun)
-Hercegovina: (Mostarski basen, Čitluk, Viduša i Stolac)
-Crna Gora: (Primorje, stara Crna Gora i južni deo crngorskih brda)
-Zapadna Srbija: (Tara, Zlatibor)
-Metohija: (Grebnička planina)

U jugoistočnoj Srbiji, u okolini Babušnice, otkrivene su i manja ležišta boksita što otvara perspektivu za otkrivanje novih ležišta u istočnim oblastima Jugoslavije.

Do sada kod nas primenjivane geofizičke metode korišćene su, sa manje ili više uspeha, za određivanje pre svega oblika palereljefa ili direktno određivanje boksita, merenjem specifične električne otpornosti i određivanjem prostora sa sniženom otpornošću koja se pripisuje uticaju boksita. U mnogim slučajevima to je bilo tačno, ali u velikom broju slučajeva snižene otpornosti ukazivale su na nivo karstne izdani, gline ili boksitične gline. Dobijani rezultati u mnogim slučajevima nisu zadvoljavali postavljene zahteve tako da se osećala potreba za uvođenjem novih, efikasnijih, metoda istraživanja boksita.

Analizom sastava boksita konstatovano je da su oni, kao produkti lateritskih kora raspadanja, obogaćeni (Th, Ti, Zr, Nb i dr.). Srednji sadržaj torijuma u sedimentima boksita različitih regiona u svetu kreće se od 30 do 150 gr/t (grama po toni) torijuma, a urana od 10 do 15 gr/t. Srednji sadržaj torijuma u boksitima vlaseničkog boksitonosnog prstora, određen u laboratoriji Geoinstituta, iznisi 40-70 gr/t. Istovremeno srednji sadržaj urana kreće se od 4-6 g/t, što je jednako ili nešto malo više od koncentracije urana u okolnim sedimentnim stenama. Sadržaj kalijuma u vlaseničkim boksitima ne prelazi nekoliko desetih delova procenta.

Sovjetski geolozi su na osnovi svojih saznanja formirali modele mogućeg pojavljivanja boksita (Vavilin L.N.,1982.) koje smo mi preuzeli, (slika 49), i koji su poslužili za formiranje modela aerogamaspektrometrijskog ispitivanja boksitonosnog područja Vlasenice i interpretaciju dobijenih podataka.

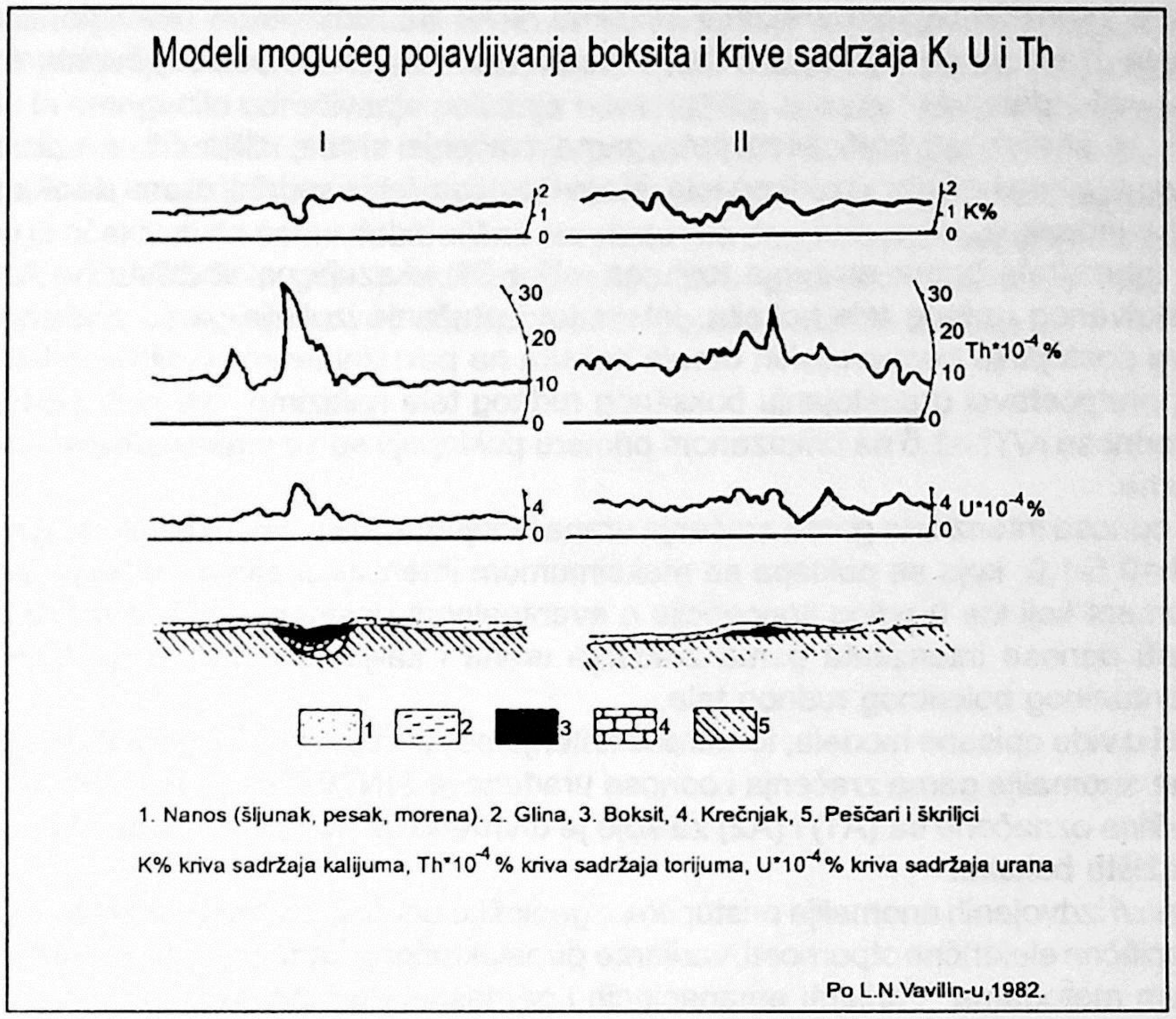
Na području vlaseničkog boksitonosnog prostora (potez Vlasenica-Srebrenica) koje je prikazano na preglednoj karti (slika 50) primenjena je metoda aerogamaspektrometrijskih ispitivanja, po profilima na rastojanju 200m i sa visinom ispitivanja od 100 do 150m. Dobijeni rezultati prikazani su na slikama od 51 do 58.

Na osnovi prikazanih modela i rezultata analiza formirani su sledeći kriterijumi za interpretaciju podataka aerogamaspektrometrijskih ispitivanja područja Vlasenica - Srebrenica.

-prvi kriterijum je perspektivnost geološke formacije iznad kojih su dobijene određene povoljne indikacije radioaktivnog gama zračenja. Na boksitonosnim terenima Vlasenice neposrednu podinu boksita čine trijas (T_2), a krovinu gornja kreda (K_2). Sedimenti neogena (M) u nekim slučajevima se, takođe, javljaju kao direktna krovina boksita (Ranković M.,1979.).

-drugi kriterijum služi za određivanje otkrivenih ležišta boksita, a zasniva se na modelu sa slike 49 označenom rimskim brojem (I). U ovom slučaju visok intenzitet gama zračenja torijuma, neznatno povišen intenzitet gama zračenja urana i snižen intenzitet gama zračenja kalijuma jednoznačno ukazuju na otkriveno ležište boksita,

-treći kriterijum za određivanje perspektivnih terena za pronalaženje ležišta boksita prekrivenih tankim pokrivačem, kao na slici 49 pod rimskim brojem (II), jeste povišen intenzitet gama zračenja torijuma pri intenzitetu gama zračena urana i kalijuma u okviru fonskih vrednosti.



Slika 49

-četvrti kriterijum je odnos intenziteta gama zračenja kalijuma i torijiuma (K/Th). Na osnovi našeg iskustva utvrđeno je da je odnos (K/Th=0,3-0,8) gotovo sigurna indikacija skoro svakog otkrivenog ležišta.

Usvojeno je da odnos (K/Th=0,8-1,2) ukazuje na verovatne pozicije ležišta boksita koja su, u ovom modelu, prekrivena tanjim pokrivačem reda veličine nekoliko desetina metara.

I, na kraju, usvojeno je da vrednosti odnosa (K/Th=1,2-1,5) ukazuju, u krajnjem slučaju, na moguće postojanje prekrivenih ležišta boksita na većoj dubini .

Za visoke vrednosti odnosa (K/Th=2,5-10) smatra se da ukazuju na neperspektivne terene.

-peti kriterijum je formiran na osnovi gama zračenja urana i torijuma (U/Th) čija je vrednost iznad svih otkrivenih ležišta jednaka (0,5).

Usvojili smo da vrednosti odnosa (U/Th=0,5-1,0) ukazuju na moguće pozicije prekrivenih ležišta boksita.

-šesti kriterijum je formiran na osnovi odnosa intenziteta radioaktivnog gama zračenja (U/K) za koji je usvojeno da pri vrednosti (U/K=0,5-1,0) dobijamo indikaciju šire zone eventualnog ležišta boksita.

Na slikama 51-58 prikazan je deo rezultata ispitivanja boksitonosnog područja Vlasenica - Srebrenica, za lokalnost VIŠNJICA. Za interpretaciju rezultata korišćeni su opisani modeli i kriterijumi.

Analizom karata intenziteta gama zračenja (slika 51) uočavamo malo povećanje intenziteta ukupnog gama zračenja od 1500 i/s, što ne daje osnov da predpostavimo mogućnost postojanja boksitnog rudnog tela na ispitivanoj površini.

Zahvaljujući mogućnosti analize spektra gama zračenja izdvajaju se podaci intenziteta gama zračenja kalijuma, urana i torijuma i izračunavaju njihovi međusobni odnosi na osnovu kojih je, korišćenjem usvojenih kriterijuma, utvrđena indikacija postojanja ležišta boksita. Korišćenjem te mogućnosti urađene su karte intenziteta gama zračenja kalijuma, urana, torijuma i sračunatih odnosa gama zračenja K/Th, U/Th i U/K .

Na karti intenziteta gama zračenja kalijuma, slika 52, uočavamo relativno visoke vrednosti intenziteta gama zračenja od 70-100 i/s što može da nam ukaže na položaj eventualnog boksitnog rudnog tela na većoj dubini.

Sa druge strane, na karti intenziteta gama zračenja urana, slika 53, ne postoje indikacije egzistiranja eventualnog boksitnog rudnog tela, što je i logično, jer je sadržaj urana u boksitima, stenama krovine i podine jednak.

Karta intenziteta gama zračenja torijuma, slika 54, ukazuje na površinu na kojoj je moguće postojanje prekrivenog rudnog tela boksita. Intenzitet i pružanje izolinija gama zračenja od 50-60 i/s jasno odražava postojanje geohemijskih oreola boksita na površini terena ispitivane lokalnosti.

Prilog pretpostavci o postojanju boksitnog rudnog tela nalazimo i na karti odnosa K/Th, slika 55. Minimumi odnosa K/Th=1,5 na prikazanom primeru poklapaju se sa maksimumom intenziteta gama zračenja torijuma.

Karta odnosa intenziteta gama zračenja urana i torijuma, slika 56, ukazuje na površinu sniženih vrednosti U/Th=0,5-1,0, koja se poklapa sa maksimumom intenziteta gama zračenja torijuma. Ona je još jedan argument koji ide u prilog koncepcije o eventualnom postojanju boksitnog rudnog tela.

Na karti odnosa intenziteta gama zračenja urana i kalijuma (U/K) nema nikakvih indikacija postojanja eventualnog boksitnog rudnog tela.

Imajući u vidu opisane modele, formirane kriterijume i perspektivnost geoloških sredina u kojima su registrovane anomalije gama zračenja i odnosa urađena je SINTEZNA KARTA, slka 58, na kojoj su izdvojene površine označene sa (A1) i (A2) za koje je utvrđeno da su najperspektivnije za pronalaženje novih rudnih ležišta boksita.

Na osnovi izdvojenih anomalija pristupilo se geološko geofizičkim ispitivanjima na površini terena metodama specifične električne otpornosti, varijante geoelektričnog kartiranja i geoelektričnog sondiranja i radiometrijskim metodama. Varijanti emanacionih i gamaspektrometrijskih ispitivanja.

Tek posle detaljnih terestičkih geofizičkih ispitivanja pristupilo se proveri rezultata bušenjem.

Rezultati tih bušenja prikazani su na slikama 59 i 60. Sve prikazane bušotine bile su pozitivne i nabušile su boksitno rudno telo.

Na slici 59 prikazan je i jedan od profila (III-III,) duž kojeg je vršeno bušenje na sledećim bušotinama : 109, 108, 90, 125, 116, 18, 95, i 121.

Geološki profil, slika 60, urađen na osnovi kartiranih jezgara bušotina prikazuje položaj boksitnog rudnog tela, a iznad njega prikazan je izgled registrovanih krivih intenziteta radioaktivnog gama zračenja K, U, Th i njihovih odnosa. Uočavamo maksimum intenziteta gama zračenja torijuma iznad boksitnog rudnog tela na poziciji na kojoj se ono nalazi na najvećoj dubini, ali i sa najvećom debljinom (17 m)!

Na ovom primeru prikazana je mogućnost primene metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja pri istraživanju boksitonosnih terena Vlasenice.

Ovde se mora naglasiti da stvarni fizičko-hemijski procesi, čije su posledice anomalije gama zračenja torijuma, nisu u potpunosti razjašnjeni, jer nisu ni proučavani za prikazanu oblast sa aspekta AGS ispitivanja. Postoje mnoga pitanja na koje treba dati odgovore, a koji će, kada ih dobijemo, možda smanjiti naš optimizam.

Jedno od objašnjenja postojanja anomalija gama zračenja torijuma možda možemo naći u geohemijskoj prirodi radioaktivnih minerala koji se nalaze u boksitima (kalijuma, urana i torijuma) i njihovog sadržaja u ležištu i okolnim stenama. U ovom slučaju značajano je da povlata boksitnog ležišta mora, pre svega, da bude propustljiva za rastvore koji se kreću od ležišta ka površini terena iz kojih bi se rastvorljivi radioaktivni elementi, na površini terena, oborili u obliku nerastvornih jedinjenja u pogodnoj geohemijskoj barijeri. Registrovana anomalija nastala je kao zbirni uticaj gama zračenja radioaktivnih minerala sa površine terena, zbog čega je dobijen prikazan oblik krivih i izolinija.

Postoji realna mogućnost da je povećan sadržaj radioaktivnih minerala na površini ispitivanog terena posledica mehaničkog raspadanja i transporta izdanka boksitnog rudnog tela koje egzistira na lokalnosti Kličac-Lomovi.

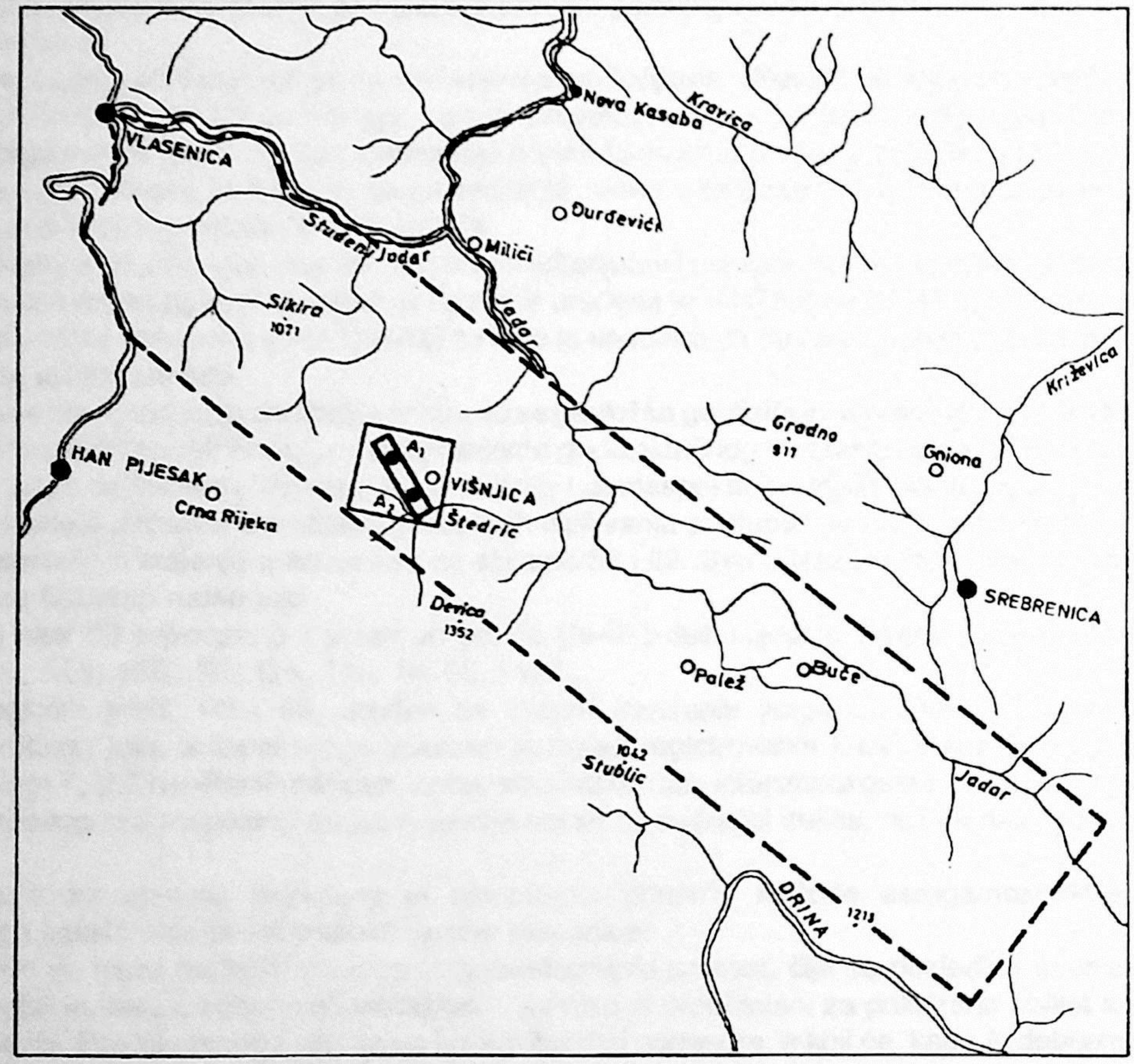
Za sada dobijeni rezultati, prikazani na slikama 50-60 ne daju nam za pravo da apriori odbacimo naše rezultate.

Za nauku i praksu povoljniji slučaj bi bio da su anomalije radioaktivnosti, registrovane prilikom AGS ispitivanja područja Vlasenica-Srebrenica, nastale kao posledica postojanja geohemijskih oreola rasejavanja što bi omogućilo određivanje položaja novih ležišta boksita. Ako se utvrdi, međutim, da su anomalije posledica mehaničkih oreola rasejavanja podaci će biti upotrebljivi za određivanje rudonosne formacije što je, ipak, značajna pomoć istraživačima na putu do otkrivanja novih ležišta boksita.

Realno je očekivati da ćemo dobiti slične rezultate i na drugim boksitonosnim terenima, posebno na potezu TARA-ZLATIBOR, gde praktično postoje iste geološke formacije kao na području Vlasenica-Srebrenica, na kojem su već otkrivene neke pojave i ležišta boksita.

PREGLEDNA KARTA
AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI I AEROMAGNETSKI ISPITIVANOG TERENA NA BOKSITONOSNOM PODRUČJU VLASENICE

2 0 2 4 6 km



POVRŠINA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI I AEROMAGNETSKI ISPITIVANA U 1983. god.

POLOŽAJ POVRŠINE ISPITIVANOG TERENA

ANOMALIJA GAMA ZRAČENJA TORIJUMA

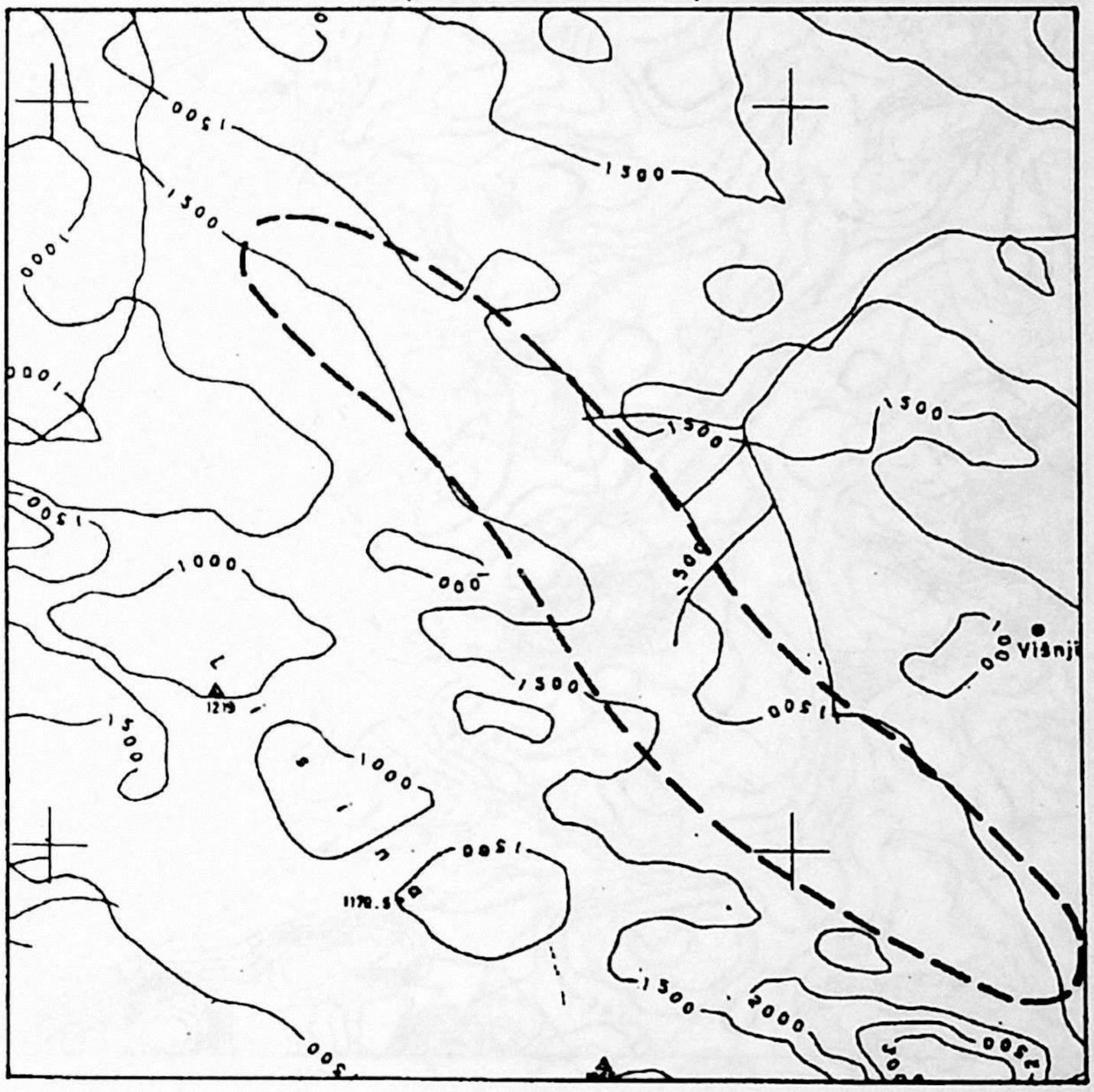
A_1, A_2 AEROGAMASPEKTROMETRIJSKE ANOMALIJE

Slika 50

KARTA INTENZITETA UKUPNOG GAMA ZRAČENJA
LOKALNOSTI VIŠNJICA
(BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

0.5 0 0.5 1 km

(Ekvidistanca 500 i/s)



POVRŠINA PERSPEKTIVNA ZA NALAŽENJE BOKSITNIH RUDNIH TELA ODREĐENA NA BAZI REZULTATA AGS ISPITIVANJA

1000
1500

IZOLINIJE INTENZITETA UKUPNOG GAMA ZRAČENJA TC (i/s)

INTENZITET GAMA ZRAČENJA (i/s)

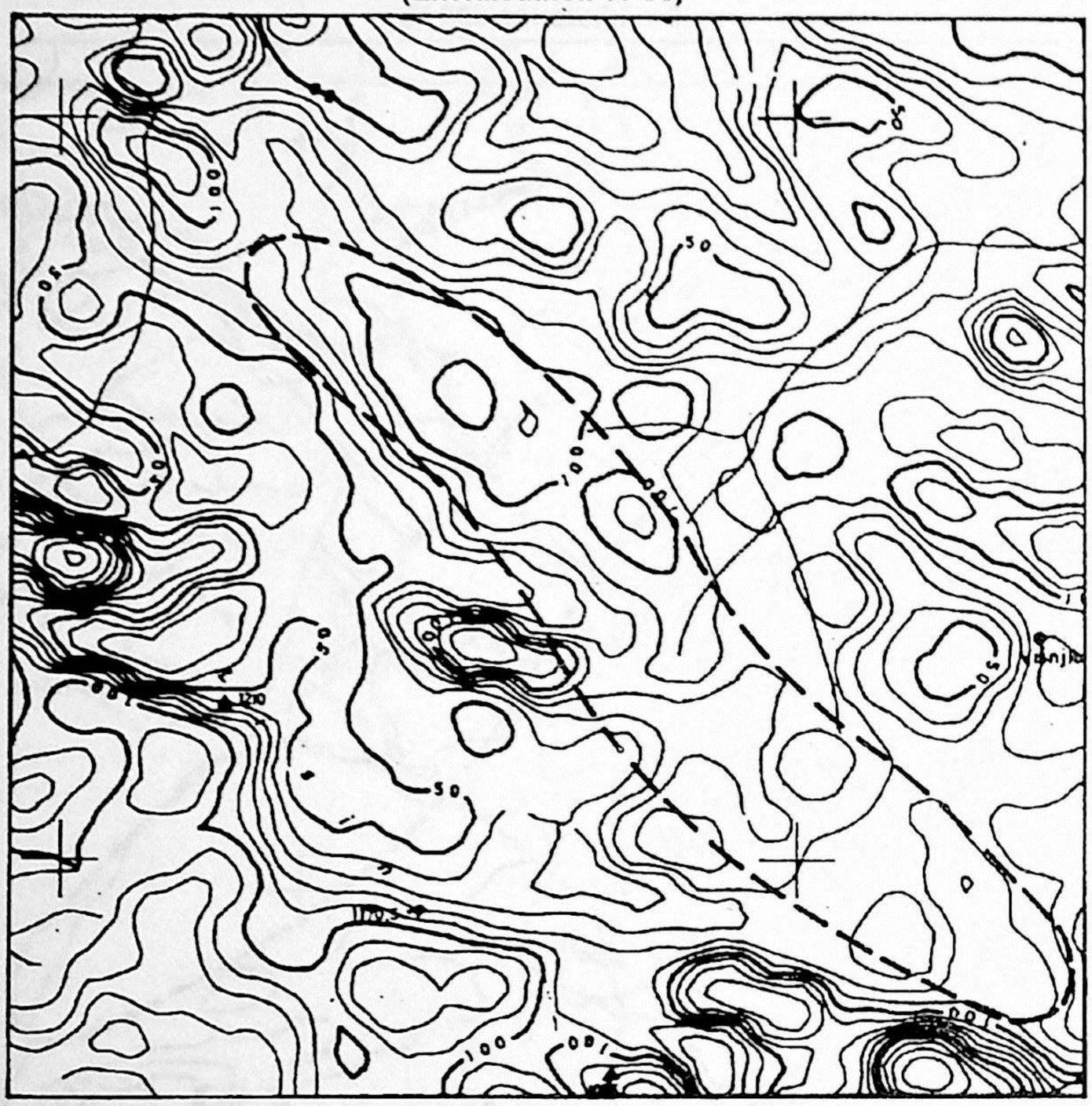
- < 1500
- 1500-2000
- 2000-3000
- > 3000

Slika 51

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA
LOKALNOSTI VIŠNJICA
(BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

0.5 0 0.5 1 km

(Ekvidistanca 10 i/s)



POVRŠINA PERSPEKTIVNA ZA NALAŽENJE BOKSITNIH RUDNIH TELA ODREĐENA NA BAZI REZULTATA AGS ISPITIVANJA

90
100

IZOLINIJE INTENZITETA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA KALIJUMA (i/s)

INTENZITET GAMA ZRAČENJA (i/s)

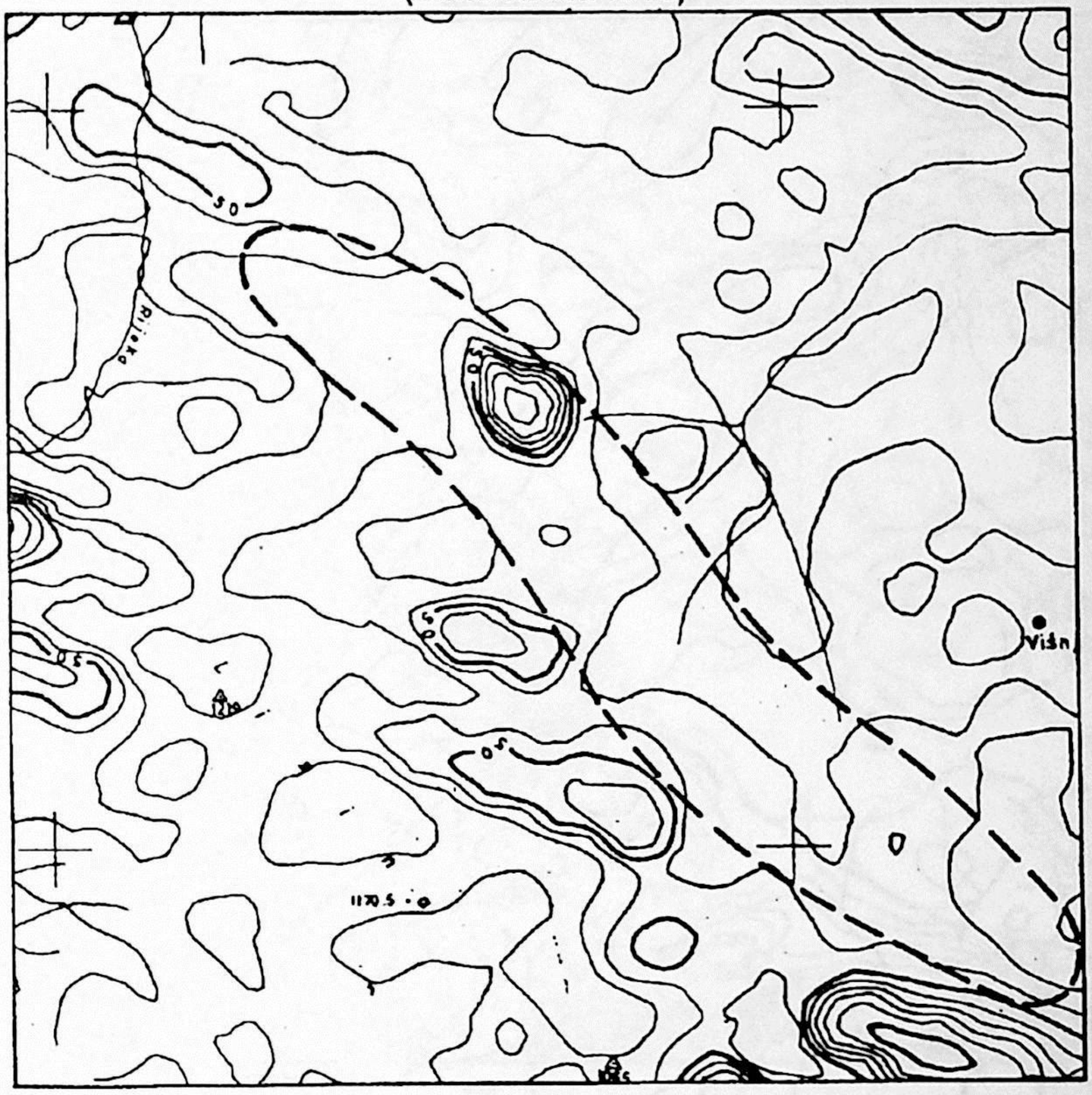
- < 50
- 50-70
- 70-100
- > 100

Slika 52

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA URANA
LOKALNOSTI VIŠNJICA
(BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

0.5 0 0.5 1 km

(Ekvidistanca 10 i/s)



POVRŠINA PERSPEKTIVNA ZA NALAŽENJE BOKSITNIH RUDNIH TELA ODREĐENA NA BAZI REZULTATA AGS ISPITIVANJA

40
50

IZOLINIJE INTENZITETA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA URANA (i/s)

- **< 30**
- **30-50**
- **50-70**
- **> 70**

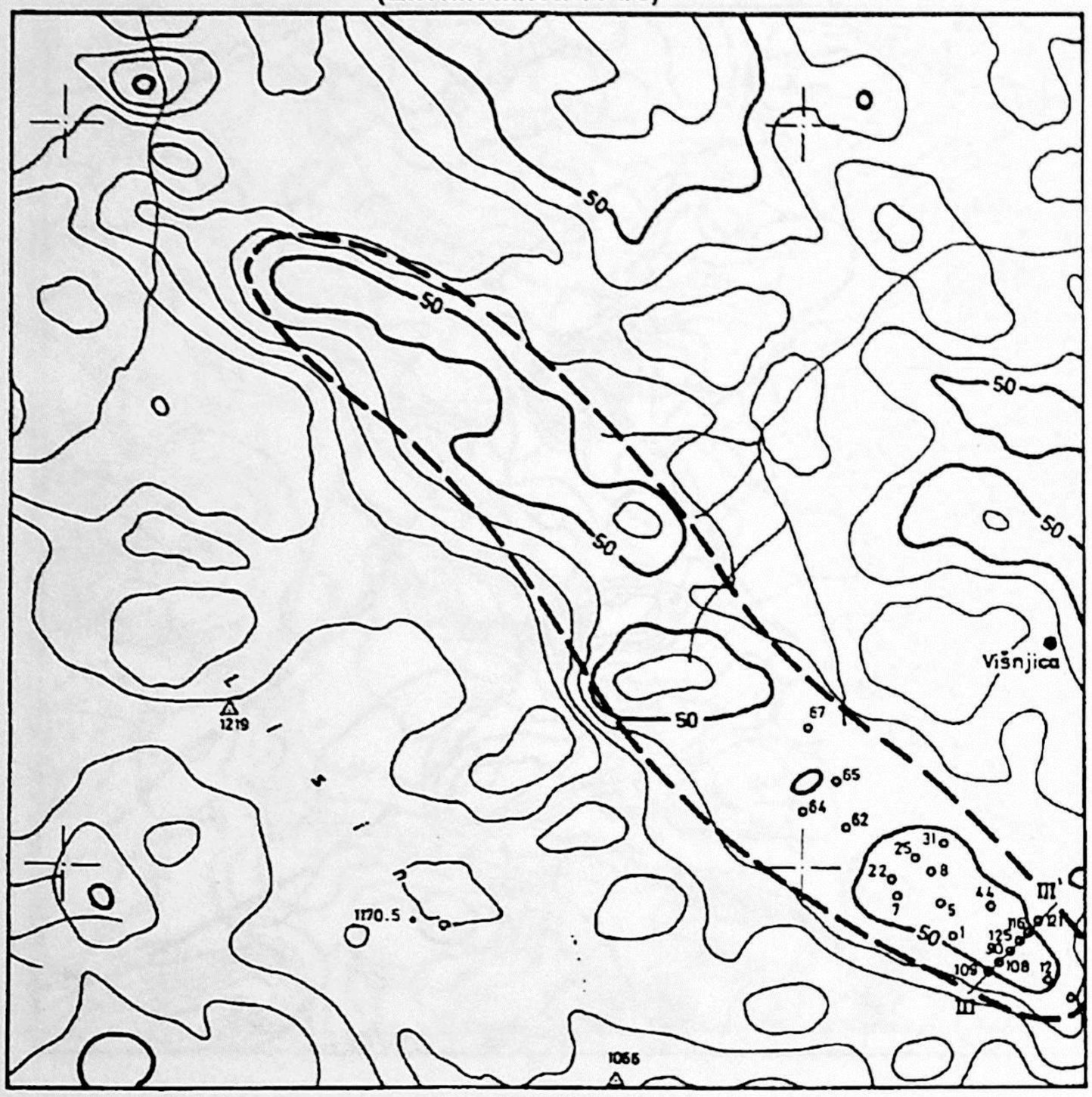
INTENZITET GAMA ZRAČENJA (i/s)

Slika 53

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA TORIJUMA
LOKALNOSTI VIŠNJICA
(BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

0.5 0 0.5 1 km

(Ekvidistanca 10 i/s)



POVRŠINA PERSPEKTIVNA ZA NALAŽENJE BOKSITNIH RUDNIH TELA ODREĐENA NA BAZI REZULTATA AGS ISPITIVANJA

40
50

IZOLINIJE INTENZITETA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA TORIJUMA (i/s)

III'
III

PROFILSKA LINIJA BUŠENJA

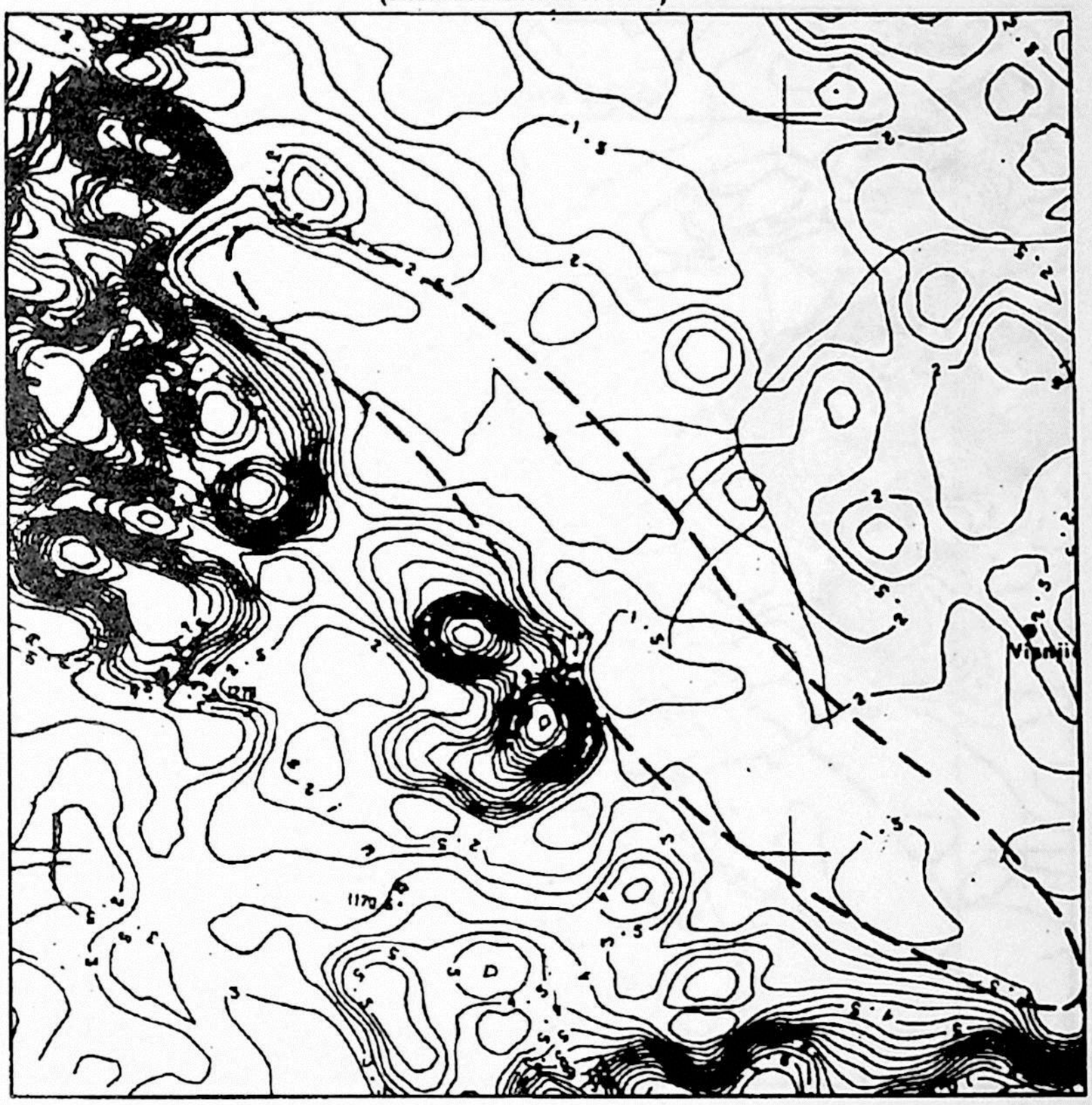
POZITIVNE BUŠOTINE PROJEKTOVANE NAOSNOVI AGS ISPITIVANJA

Slika 54

KARTA ODNOSA RADIOAKTVNOG GAMA ZRAČENJA K/Th
LOKALNOSTI VIŠNJICA
(BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

0.5 0 0.5 1 km

(Ekvidistanca 0.5 i/s)



POVRŠINA PERSPEKTIVNA ZA NALAŽENJE BOKSITNIH RUDNIH TELA ODREĐENA NA BAZI REZULTATA AGS ISPITIVANJA

IZOLINIJE ODNOSA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA K/Th (I/s)

INTENZITET GAMA ZRAČENJA (I/s)

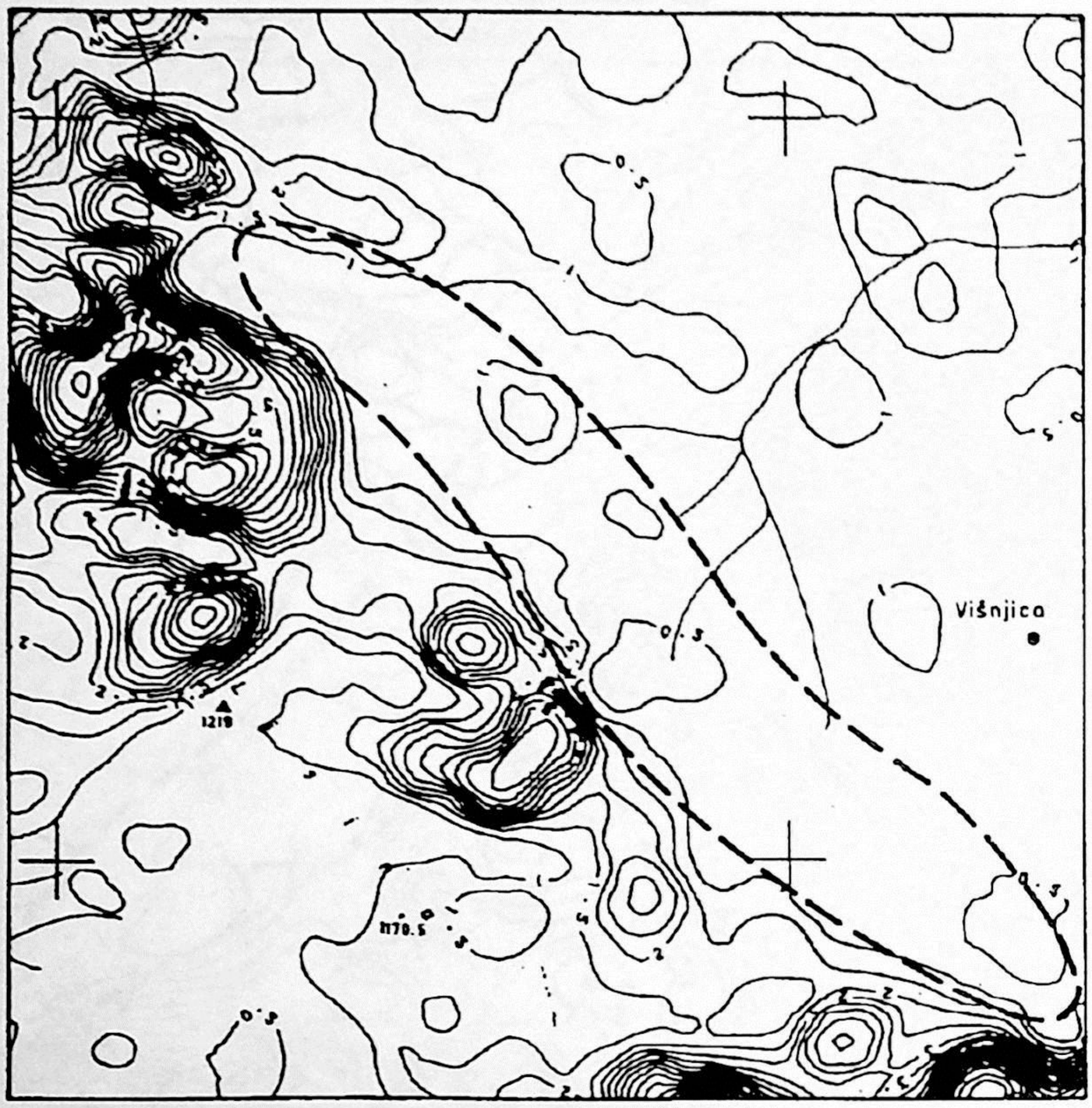
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- > 2

Slika 55

KARTA ODNOSA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA U/Th
LOKALNOSTI VIŠNJICA
(BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

0.5 0 0.5 1 km

(Ekvidistanca 0.5 l/s)



POVRŠINA PERSPEKTIVNA ZA NALAŽENJE BOKSITNIH RUDNIH TELA ODREĐENA NA BAZI REZULTATA AGS ISPITIVANJA

0.5
1

IZOLINIJE ODNOSA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA U/Th (i/s)

INTENZITET GAMA ZRAČENJA (l/s)

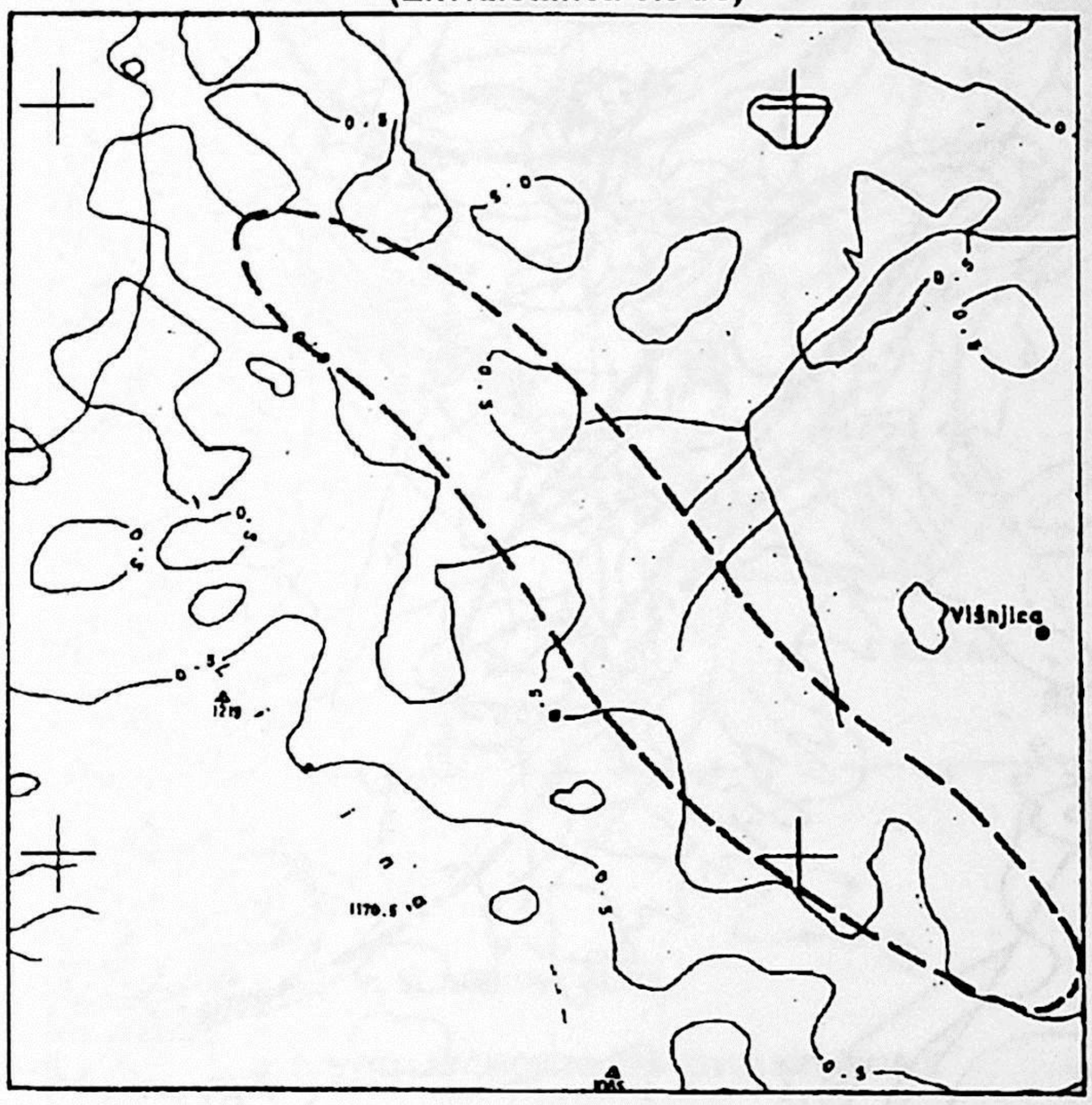
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- > 2

Slika 56

KARTA KOLIČNIKA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA
U/K LOKALNOSTI VIŠNJICA
(BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

0.5 0 0.5 1 km

(Ekvidistanca 0.5 i/s)



POVRŠINA PERSPEKTIVNA ZA NALAŽENJE BOKSITNIH RUDNIH TELA ODREĐENA NA BAZI REZULTATA AGS ISPITIVANJA

0.5
1

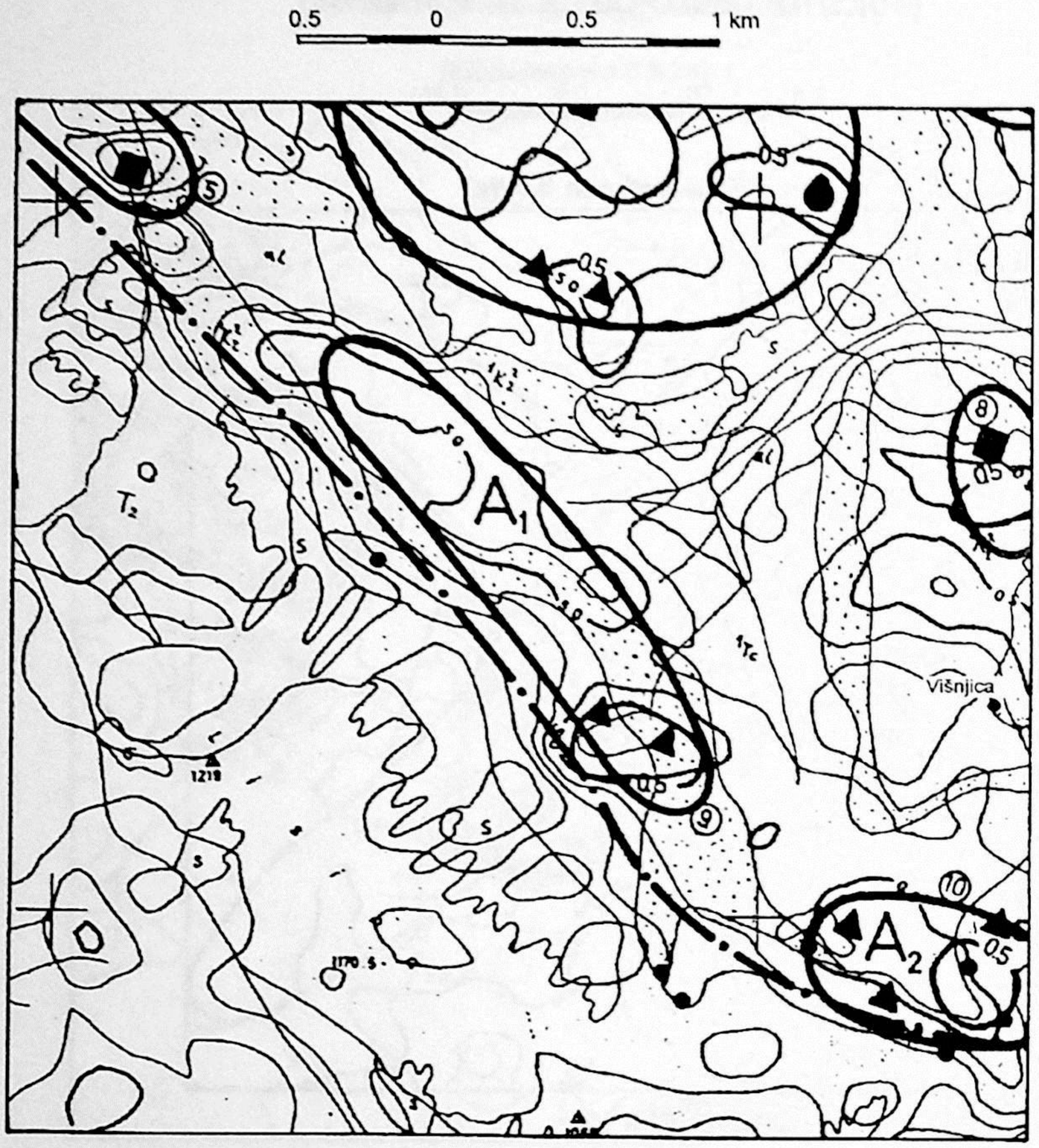
IZOLINIJE ODNOSA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA U/K (i/s)

INTENZITET GAMA ZRAČENJA (i/s)

- **0.5 - 1**
- **1 - 1.5**
- **1.5 - 2**
- **> 2**

Slika 57

SINTEZNA KARTA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA LOKALNOSTI VIŠNJICA (BOKSITONOSNO PODRUČJE VLASENICE)

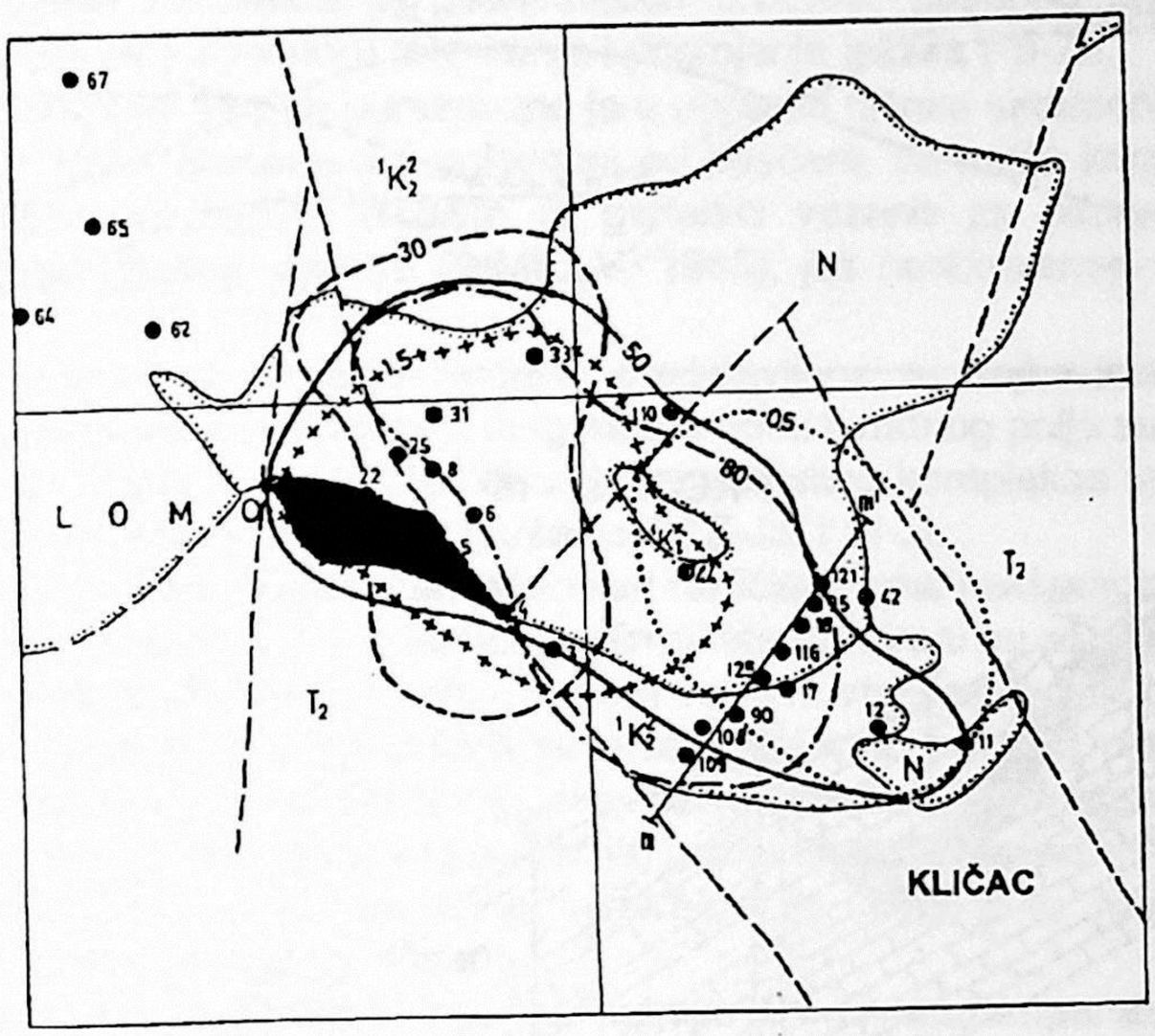


al	ALUVION	40 50	IZOLINIJE INTENZITETA GAMA ZRAČENJA TORIJUMA (i/s)
S	SIPAR		GRANICA ŠIREG PROSTORA PERSPEKTIVNOG ZA PRONALAŽENJE BOKSITA
^1Tc	KONGLOMERATI I GLINE		GRANICA UŽEG PROSTORA PERSPEKTIVNOG ZA PRONALAŽENJE BOKSITA
K_2^3	BANKOVITI MASIVNI KREČNJACI		IZDANCI I LEŽIŠTA BOKSITA
$^2K_2^2$	SLOJEVITI I BANKOVITI KREČNJACI	A_1, A_2	ANOMALIJE INTENZITETA GAMA ZRAČENJA RAZLIČITIH PARAMETARA I NJIHOVIH ODNOSA
$^1K_2^2$	LAPOROVITO PESKOVITI KREČNJACI PEŠČARI SA MERMERIMA		
T_2	BANKOVITI KREČNJACI	●	K/Th = 0.3 - 0.8
$^1C_{1-2}$	BANKOVITI KREČNJACI	■	K/Th = 0.8 - 1.2
		▲	K/Th = 1.2 - 1.5

Slika 58

GEOLOŠKA KARTA
LOKALNOSTI KLIČAC-LOMOVI

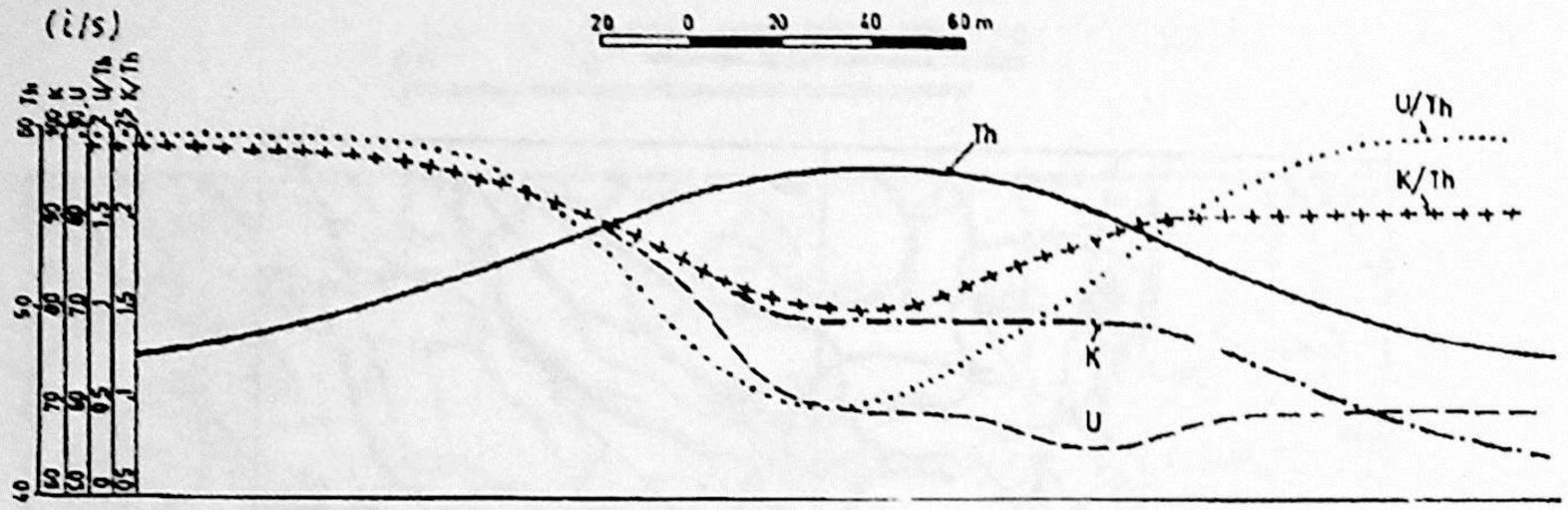
0 100 200 300 400 m



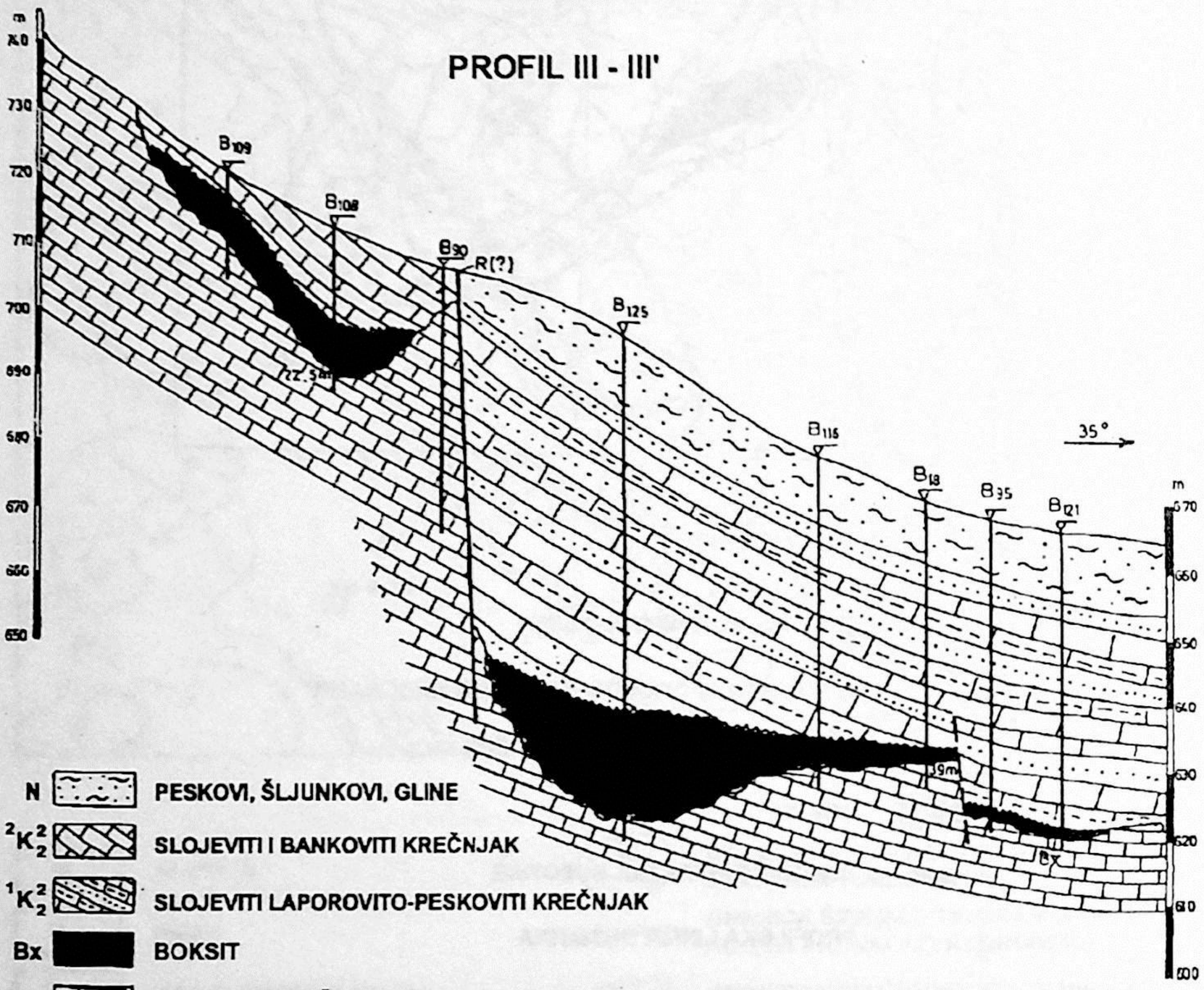
N	PESKOVI, ŠLJUNKOVI, GLINE
$^1K_2^2$	SLOJEVITI LAPOROVITO-PESKOVITI KREČNJACI
T_2	MASIVNI DO SLOJEVITI SIVI KREČNJACI
	BOKSIT
062	POZITIVNE ISTRAŽNE BUŠOTINE
III III'	PROFILSKA LINIJA BUŠOTINA
	INTENZITET RGZ TORIJUMA (50 i/s)
	INTENZITET RGZ KALIJUMA (80 i/s)
	INTENZITET RGZ URANA (30 i/s)
	ODNOS INTENZITETA RGZ URANA I TORIJUMA (0.5)
	ODNOS INTENZITETA RGZ KALIJUMA I TORIJUMA (1.5)

Slika 59

GEOLOŠKI PROFIL BOKSITNOG LEŽIŠTA
KLIČAC - LOMOVI



PROFIL III - III'



N PESKOVI, ŠLJUNKOVI, GLINE

$^{2}K_{2}^{2}$ SLOJEVITI I BANKOVITI KREČNJAK

$^{1}K_{2}^{2}$ SLOJEVITI LAPOROVITO-PESKOVITI KREČNJAK

Bx BOKSIT

T_2 PODINSKI KREČNJAK

B_{90} BUŠOTINA

INTENZITET RGZ TORIJUMA (i/s)

INTENZITET RGZ KALIJUMA (i/s)

INTENZITET RGZ URANA (i/s)

ODNOS INTENZITETA RGZ URANA I TORIJUMA

ODNOS INTENZITETA RGZ KALIJUMA I TORIJUMA

Slika 60

24.0. PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU OLOVA I CINKA NA RUDNOM POLJU "RUDNIK"

Metoda aerogamaspektrometrijskih ispitivanja je 1983. godine primenjena pri istraživanju olova i cinka na rudnom polju "Rudnik", čiji položaj je prikazan na preglednoj karti (slika 61). Primenjena je u cilju otkrivanja površinskih manifestacija geohemijskih procesa, posebno procesa **KALIJUMSKE METASOMATOZE,** pratioca i indikatora formiranja i postojanja ležišta Pb-Zn.

Rudno polje Rudničke planine obrazovano je u ubranim flišnim sedimentima, donje, a delom i gornje krede (SIMIĆ V.1965) sastavljenim uglavnom od peščara, sa nešto konglomerata, laporovitih peščara i, sasvim retko, krečnjaka. Rudište je genetski vezano za plutonsko telo granitskog, granodioritskog do monconitskog sastava (SIMIĆ V. 1965), još neotkrivenog erozijom ili rudarskim radovima.

Magmatske stene užeg područja Rudnika predstavljene su dajkovima, silovima i masama dacito-andezita. Poseban produkt intruzivnog magmata u oblasti rudnog polja su eksplozivne breče. U celini, magmatske stene Rudnika su deo tercijarnog magmatskog kompleksa šumadijske oblasti koje su se probile duž razloma, najčešće pravca pružanja SSZ-JJI i SI-JI.

Kontaktnometamorfnim uticajem zahvaćene su različite stene: neki magmati, krečnjaci, konglomerati a najvećim delom peščari. Od pomenutih sedimenata formirani su skarnovi.

Magmatski pokreti na Rudniku odigrali su se u velikom vremenskom intervalu od donje krede do pliocena. Obrazovanje rudnog polja uslovili su u najvećoj meri sistemi razloma, duž kojih su se utisnuli dajkovi i silovi dacitsko-andezitskih stena, eksplozivne breče ili postmagmatski rastvori. Razlomi su formirani u dva sistema: glavni, dinarskog pružanja, i sekundarni, upravno na njega. U preseku ovih sistema razloma obrazovana je glavna zona mineralizacije, koja je u najranijoj fazi tektonsko -magmatskih pokreta kontaktno metamorfisana.

Postmagmatski rastvori deponovali su na Rudniku, u velikom temperaturnom intervalu brojne asocijacije elemenata i mineralnih parageneza u KONTAKTNO-METASOMATSKOM, PNEUMATOLITSKOM i HIDROTERMALNOM stadijumu.

Zona rudnih tela od Prlova do Pećina bila je jasno indicirana mnogim rudnim izdancima skarnovima i hidrotermalnim promenama, starim radovima i geofizičkim anomalijama. Dublji delovi indiciraju se na osnovi kontrolnih faktora, geohemijskih anomalija primarnih oreola rasejavanja i geofizičkih ispitivanja. U novije vreme utvrđeno je da je u sklopu hidrotermalnih promena vodeći indikator prisustva orudnjenja proces KALIJSKE METASOMATOZE OKOLNIH STENA POGLAVITO ERUPTIVA (MILIĆ R.1972.)

Aerogamaspektrometrijskim ispitivanjima potvrđeni su rezultati mineraloško-hemijskih ispitivanja na ležištu "Rudnik" tako da je u kalijumskom "prozoru" spektra gama zračenja registrovana anomalija gama zračenja. Na osnovi dobijenih rezultata urađena je karta intenziteta gama zračenja kalijuma (slika 62) na kojoj je dobijena izrazita anomalija od preko 600 i/s. Za isti prostor u torijumskom "prozoru" registrovan je intenzitet gama zračenja torijuma od oko 80 i/s (slika 63). Izradom karte odnosa intenziteta gama zračenja kalijuma i torijuma (slika 64) dobili smo još jednu potvrdu postojanja anomalije radioaktivnosti. Šira površina obuhvaćena izolinijom odnosa K/Th=3 poklapa se sa površinom anomalijskog intenziteta gama zračenja kalijuma obuhvaćenom izolinijom 350 i/s. Anomalijske vrednosti veličine K/Th=5-8 poklapaju se sa izrazitom anomalijom kalijumskog porekla intenziteta 450-600 i/s, a nalaze se na mestu najbogatije orudnjene Pb-Zn zone u ležištu "Rudnik". Iz ovih primera, sa slika 62, 63 i 64, uočava se da za ispitivano ležište postoji direktna veza procesa kalijske metasomatoze, anomalija intenziteta radioaktivnosti kalijuma i odnosa K/Th sa prisustvom mineralizacije Pb-Zn.

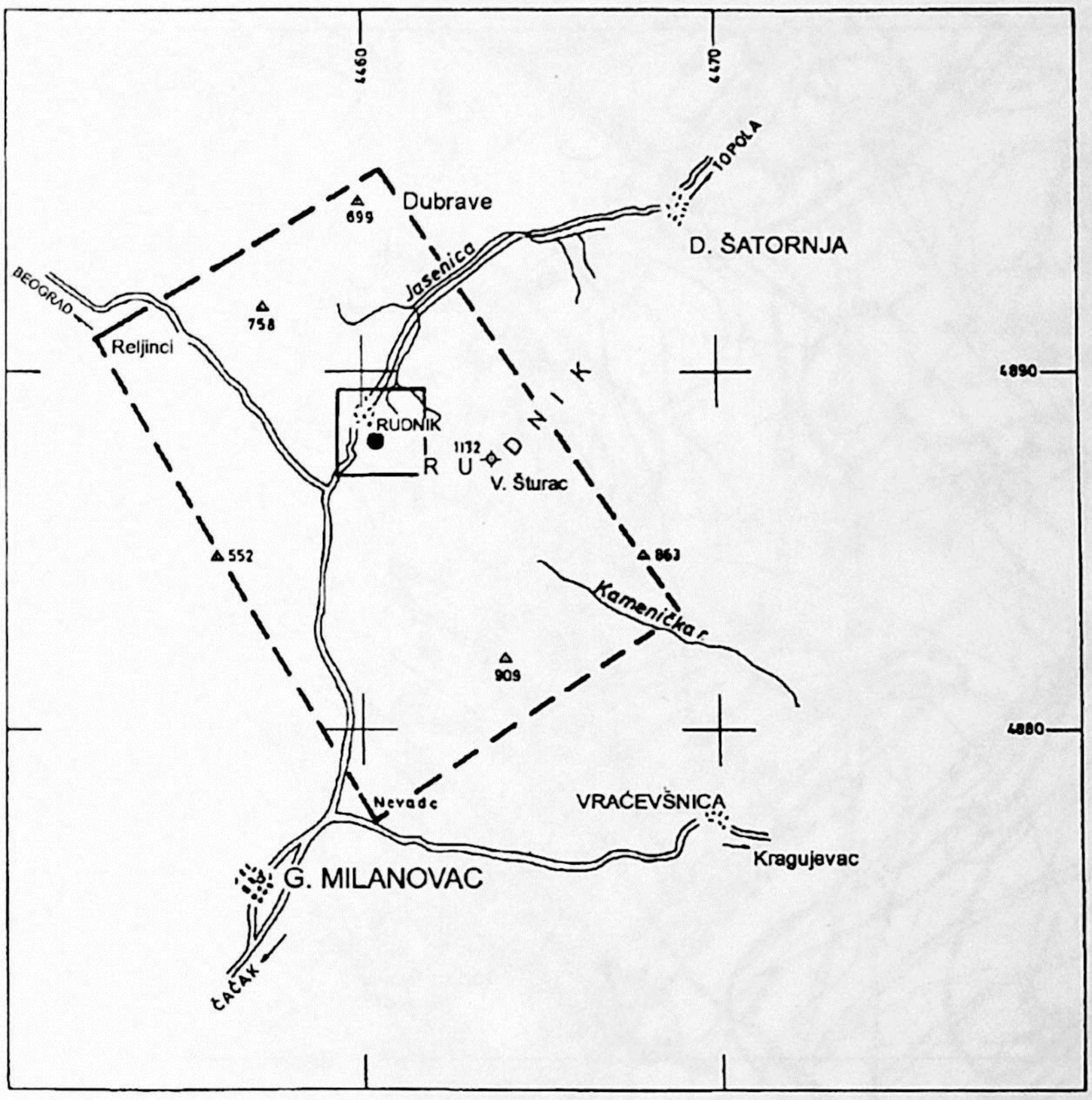
Pravac pružanja izolinija gama zračenja kalijuma, torijuma i odnosa K/Th je, generalno, SZ-JI što se poklapa sa pravcem pružanja velikog šumadijskog razloma, koji je i uslovio formiranje stena magmatskog kompleksa šumadijske oblasti.

Direktna uzročno-posledična veza između rupturnog sklopa terena, hidrotermalne mineralizacije, kontaktno metasomatskih izmena stena, rudnih zona Pb-Zn mineralizacije, anomalija intenziteta gama zračenja kalijuma i anomalija odnosa intenziteta gama zračenja kalijuma i torijuma je jasno izražena.

Prikazana metodologija omogućava da u sklopu kompleksnih istraživanja tercijarnog magmatskog kompleksa šumadijske oblasti registrujemo razlomne zone regionalnog karaktera, duž kojih su prolazili hidrotermalni fluidi, i odredimo uže lokalitete za koje postoji velika verovatnoća da su ekonomski orudnjeni različitim mineralizacijama, najčešće Pb-Zn, po pravcu AVALA-KOSMAJ-RUDNIK i dalje na jug.

PREGLEDNA KARTA
AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI ISPITIVANOG TERENA
RUDNOG POLJA "RUDNIK"

2 0 2 4 6 8 10 km



– – – – POVRŠINA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI ISPITIVANA 1983. god.

POLOŽAJ POVRŠINE ISPITIVANOG TERENA PRIKAZANE NA SLIKAMA 62-64

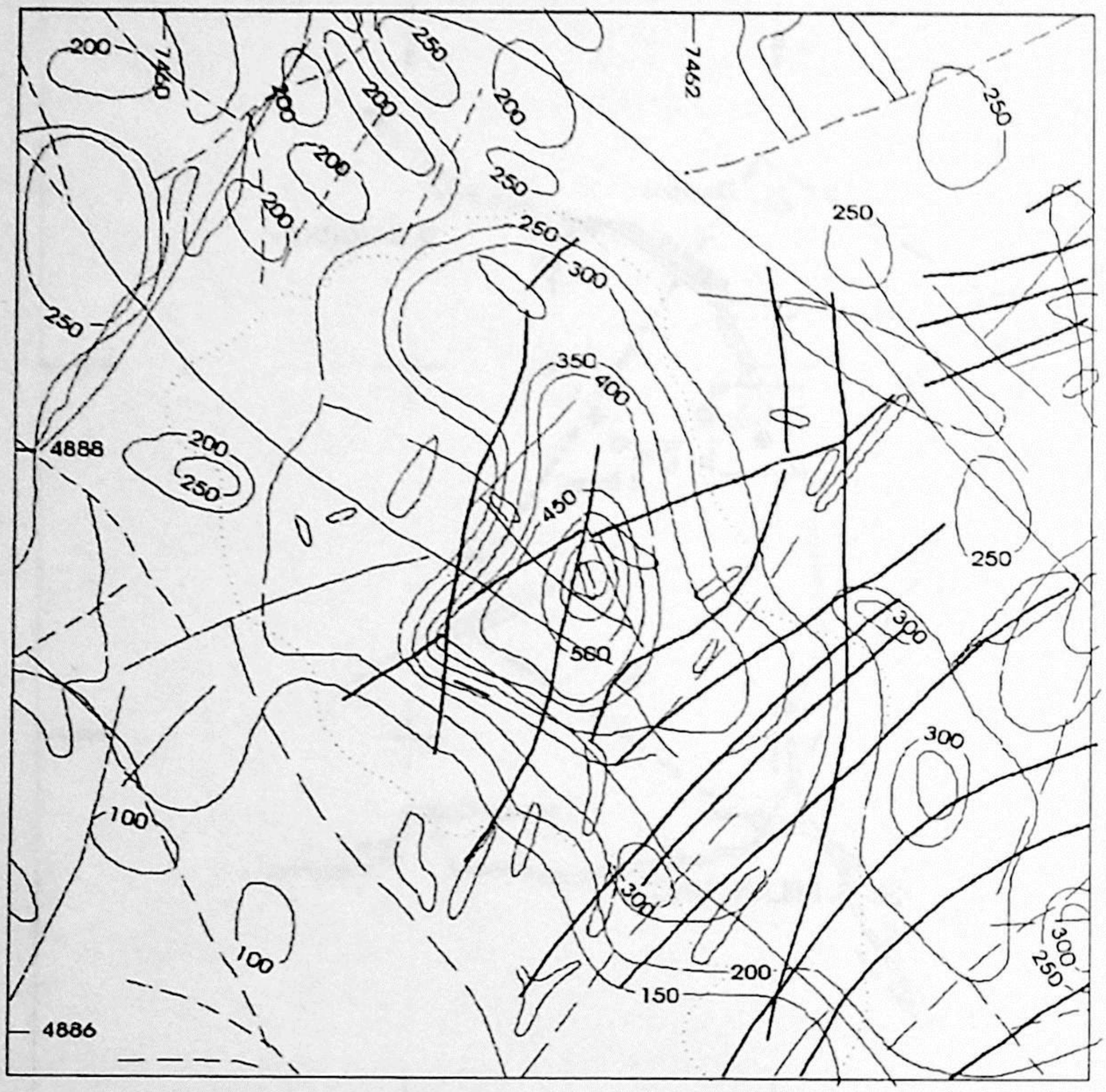
● ANOMALIJA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA

Slika 61

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA RUDNIKA "RUDNIK" 1983.

0.25 0 0.50 1.0km

(ekvidistanca 50 i/s)



xdq kvarcmonconiti

ca M 3 kvarclatiti

$K_2^{2,3}$ brečoidni krečnjaci

K_1^4 krečnjaci

dacitsko - kvarclatitski dajkovi

hidrotermalno izmenjena zona

utvrdjena geološka granica

predpostavljena geološka granica

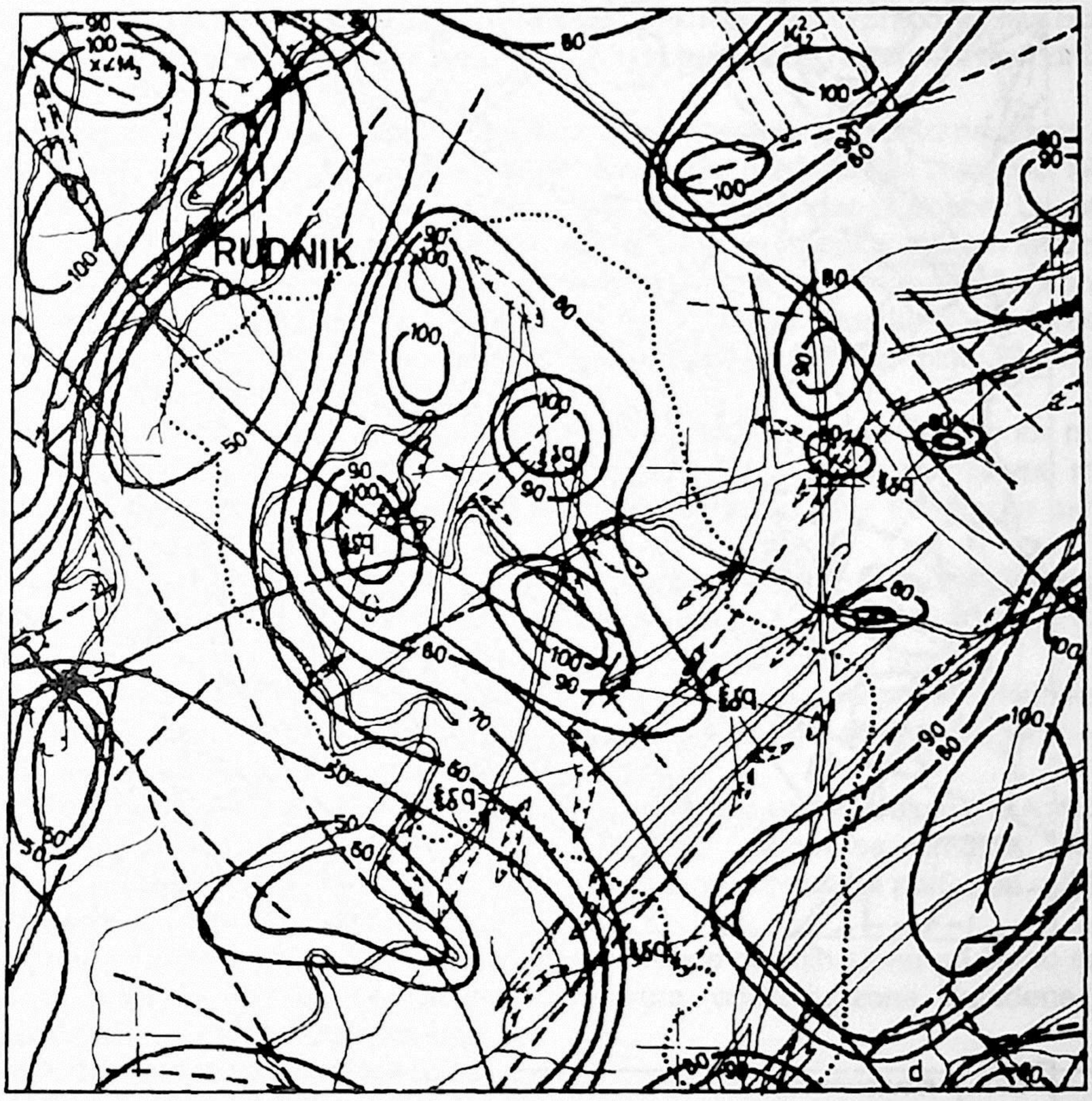
300 izolinije anomalijskog intenziteta gama zračenja kalijuma (i/s)

Slika 62

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA TORIJUMA RUDNIKA "RUDNIK" 1983.

0.25 0 0.25 0.5 0.75 1 km

(ekvidistanca 10 l/s)



KVARCMONCONITI

αhb KVARCLATITI

aα BREČOIDNI KREČNJACI

ω" KREČNJACI

ω' DACITSKO-KVARCLATITSKI KREČNJACI

HIDROTERMALNO IZMENJENE STENE

UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA

PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA

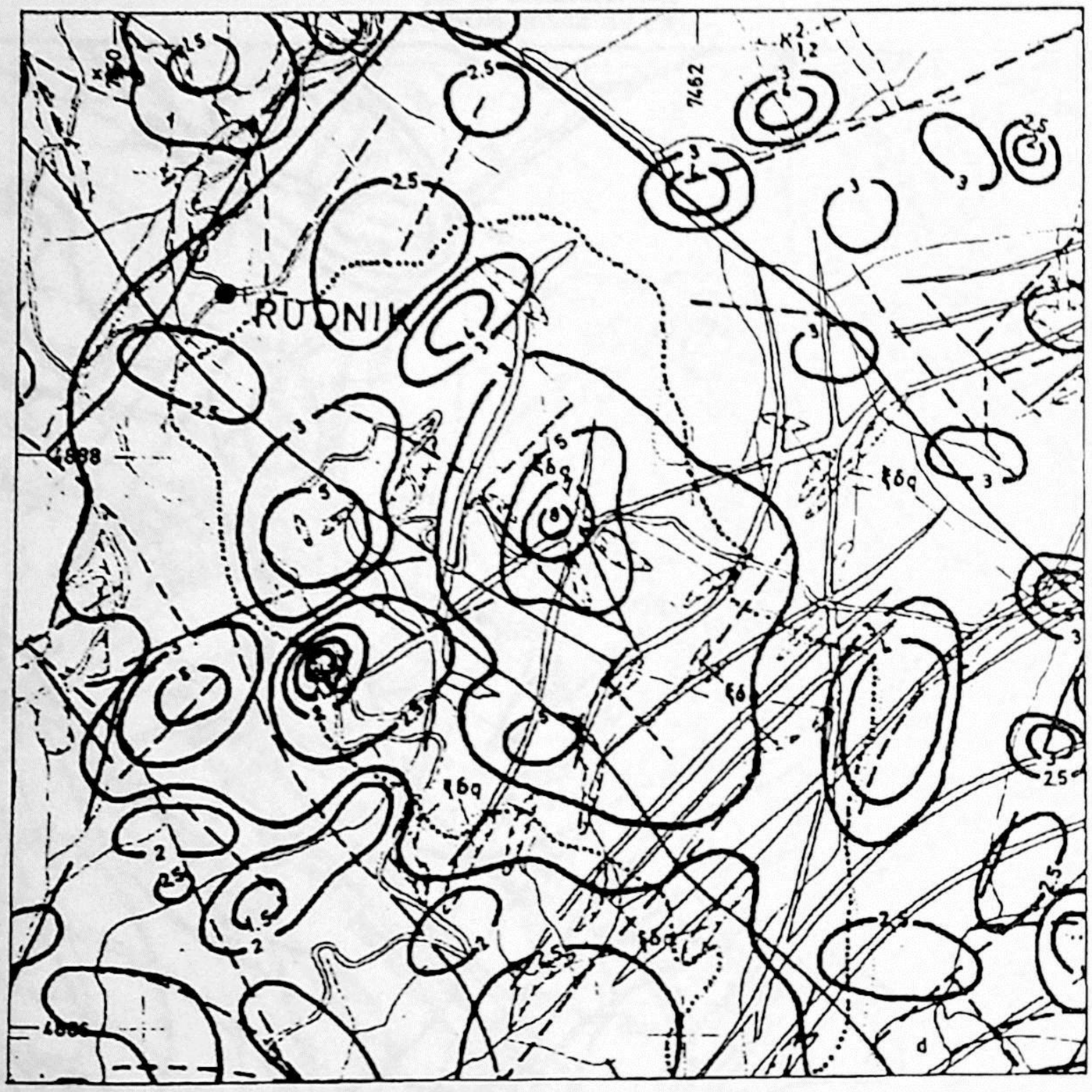
IZOLINIJE GAMA ZRAČENJA TORIJUMA (l/s)

Slika 63

KARTA KOLIČNIKA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA I TORIJUMA RUDNIKA "RUDNIK"

0.25 0 0.25 0.50 0.75 1.0 km

(EKVIDISTANSCA 0.5 i/s)



$\xi\delta q$	KVARCMONCONITI
$X\alpha M_3$	KVARCLATITI
$X_2^{2.3}$	BREČOIDNI KREČNJACI
K_1^4	KREČNJACI
	DACITSKO-KVARCLATITSKI KREČNJACI
	HIDROTERMALNO IZMENJENA ZONA

UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA

PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA

IZOLINIJE KOLIČNIKA K/Th

Slika 64

25.0. PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU BAKRA U TIMOČKOM MAGMATSKOM KOMPLEKSU

Metoda aerogamaspektrometrijskih ispitivanja primenjena je i pri istraživanju bakra u Timočkom magmatskom kompleksu gde je dala dobre rezultate i omogućila otkrivanje anomalija intenziteta gama zračenja kalijuma, koje su posledica procesa kalijumske metasomatoze, uz koje najčešće idu i rudna ležišta bakra. Ispitivana površina, čiji je deo obrađen u ovom radu prikazan je na preglednoj karti (slika 67).

Preko 30 godina dominira hipoteza o subvulkansko hidrotermalnoj prirodi ležišta Bor (CISARC, 1956.) koje je formirano u vulkanima centralnog tipa, iz hidrotermalnog rastvora u dovodnim kanalima (JANKOVIĆ,1980. i KARAMATA,1981.).

Novije koncepcije, međutim, imaju drugačiji pristup rešavanju problema nastanka ležišta Bor. Tako na primer M. PETKOVIĆ sa saradnicima, 1984., smatra da u ležištu Bor i njegovoj bliskoj okolini nikada nisu postojali vulkani centralnog tipa. Prema ovoj koncepciji u depozicionom basenu u sredini faze depozicije počelo je formiranje velikog svoda, koji je kontrolisan magmatskom intruzijom, čije je prisustvo potvrđeno retkim žicama ekvivalenata granodioritskih magmi i velikom alterisanom zonom, bogatom metasomatskom i porfirskom mineralizacijom. Intruzivi prve faze doneli su, takođe, toplotnu energiju za formiranje hidrotermalnih rastvora iz kojih je formirana porfirska mineralizacija u najvišim delovima dome i u vulkanosedimentnom kompleksu.

Bez obzira na koncepciju stvaranja ležišta Bor i drugih ležišta u Timočkom magmatskom kompleksu postoji jedna zajednička tačka, koja je u suštini polazna tačka za primenu metode AGS ispitivanja, a to je postojanje porfirskih ležišta bakra i egzistiranje procesa kalijumske metasomatoze koji su pratioci i indikatori ovih ležišta.

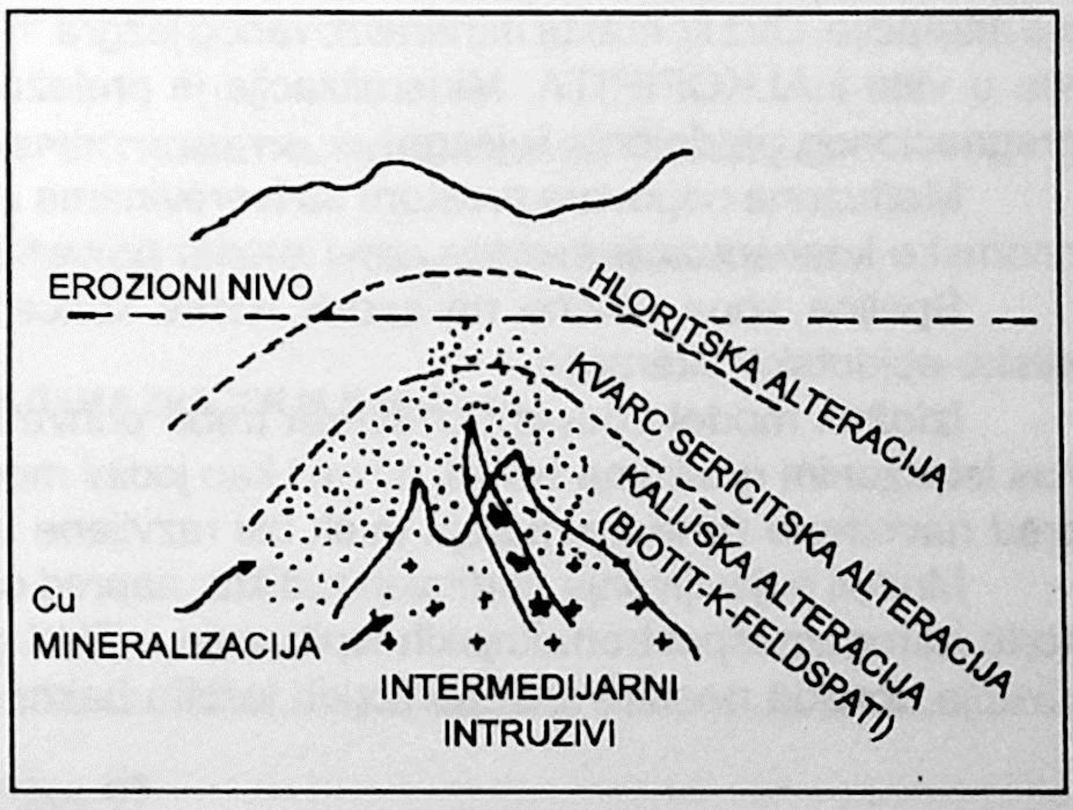
Porfirska rudišta bakra pripadaju štokverkno-impregnacionom tipu orudnjenja obrazovanog u, oko ili iznad porfirskog intruziva. Kao okolne stene javljaju se ne samo matični intruzivi, plutonski i subvulkanski očvrsli, već i sve stene u kojima su se magmatski kompleksi smestili.

Orudnjene matične intruzivne stene su hidrotermalno izmenjene i mehanički deformisane, ispucale ponekad i brečizirane. Primarno porfirsko orudnjenje u, opštem slučaju, odlikuje se veoma značaj-nim razmerama, daleko većim nego ostala hidrotermalna rudišta.

Za porfirska rudišta veoma su karakteristične promene koje se dešavaju u okolnim stenama pod uticajem hidrotermalnih rastvora. Kao specifični procesi mogu se smatrati KALIJUMSKA METASOMATOZA čije tvorevine predstavljaju jedno od genetskih obeležja porfirskih rudišta, naročito bakra i molibdena.

U porfirskim rudištima zapažene su značajne promene okolnih stena pri čemu se duž fronta metasomatizma, u smeru kretanja hidrotermalnih rastvora, obrazuju zone izgrađene od različitih mineralnih asocijacija sa tipomorfnim pratećim mineralima (ortoklasom, biotitom, kvarcom, sericitom, argilitom, hloritom). Tako je, na primer, ortoklas-biotitska asocijacija obrazovana obično u neposrednoj vezi sa rudnom mineralizacijom bakra. U procesima koji dovode do obrazovanja ove asocijacije zapaža se zamenjvanje primarnih minerala sekundarnum biotitom, K-feldspatom, kvarcom, sericitom (slika 65).

Kvarcno-sericitska asocijacija obično se naslanja ili preklapa preko prethodne .U tom prostoru koji je, takođe, značajan u pogledu orudnjenja bakra dolazi do sericitizacije gotovo svih prisutnih silikata i do izrazito rasprostranjene silifikacije.

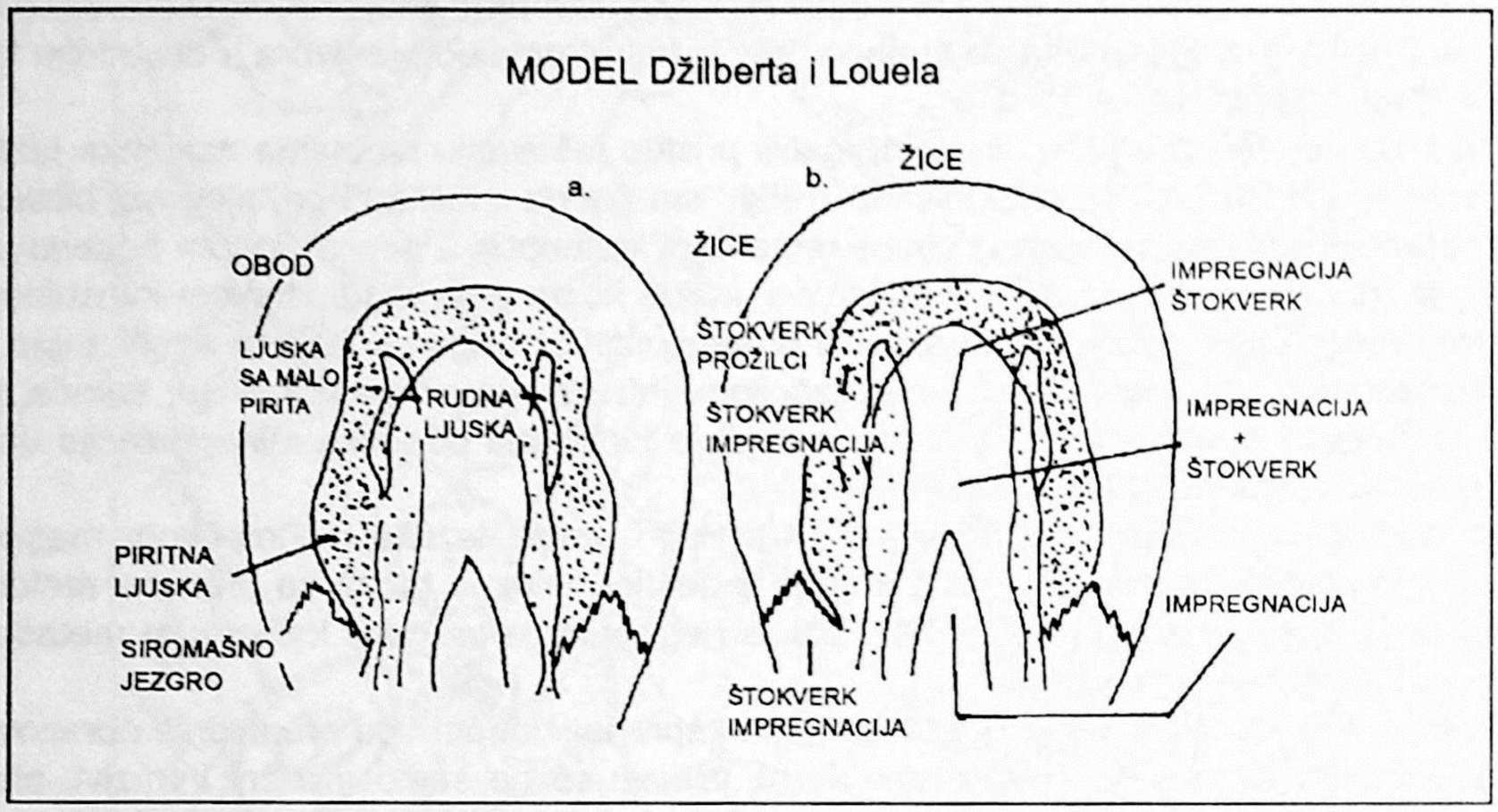


Slika br 65

Argilitizacija je takođe vrlo česta u porfirskim ležištima. U ovim procesima plagioklas biva zamenjen kaolinom u blizini rudnog tela ili montmorionitom u delu rudišta u kojem je rudna mineralizacija neznatna ili izostaje. K-feldspat je neznatno zahvaćen procesima metasomatoze.

Hloritska asocijacija sastoji se od više minerala koji su obično formirani nešto dalje od srednjeg dela rudnog tela, na prelazu u neizmenjene okolne stene.

Zonalnost razmeštaja mineralnih asocijacija često je karakteristika većine porfirskih rudišta bakra, kako bočna tako i vertikalna. Ona, međutim, nije razvijena u svim rudištima na isti način i sa istim mineralnim asocijacijama.



Slika 66

Lateralna zonalnost razmeštaja pojedinih mineralnih asocijacija u rudištu je posledica promenljivosti određenih geohemijskih faktora koji kontrolišu deponovanje minerala.

LOUEL i DŽILBERT su 1970. izdvojili tri osnovne koncentrično razmeštene zone koje se nastavljaju jedna na drugu, obično sa postepenim prelazom, dok su njihovi položaji i razmere u tesnoj vezi sa facijama hidrotermalno alterisanih stena (slika 66). Unutrašnja zona obuhvata središnji deo rudišta, koji je obrazovan u domenu ortoklasno-biotitski alterisanih stena (deo ove zone poznat je kao jezgro nisko kvalitetnih mineralizacija). Ovaj deo unutrašnje zone je obično znatnih razmera širine i preko nekoliko stotina metara. Oko jezgra leži "rudna ljuska" pretežno formirana u domenu kvarcno-sericitske facije alteracije. Duž kontakta mineralizovanog jezgra "rudne ljuske" dolazi do najznačajnije koncentracije bakra u vidu HALKOPIRITA. Mineralizacija je pretežno u vidu štokverka koji ima manje razmere od impregnacionog orudnjenja u jezgru.

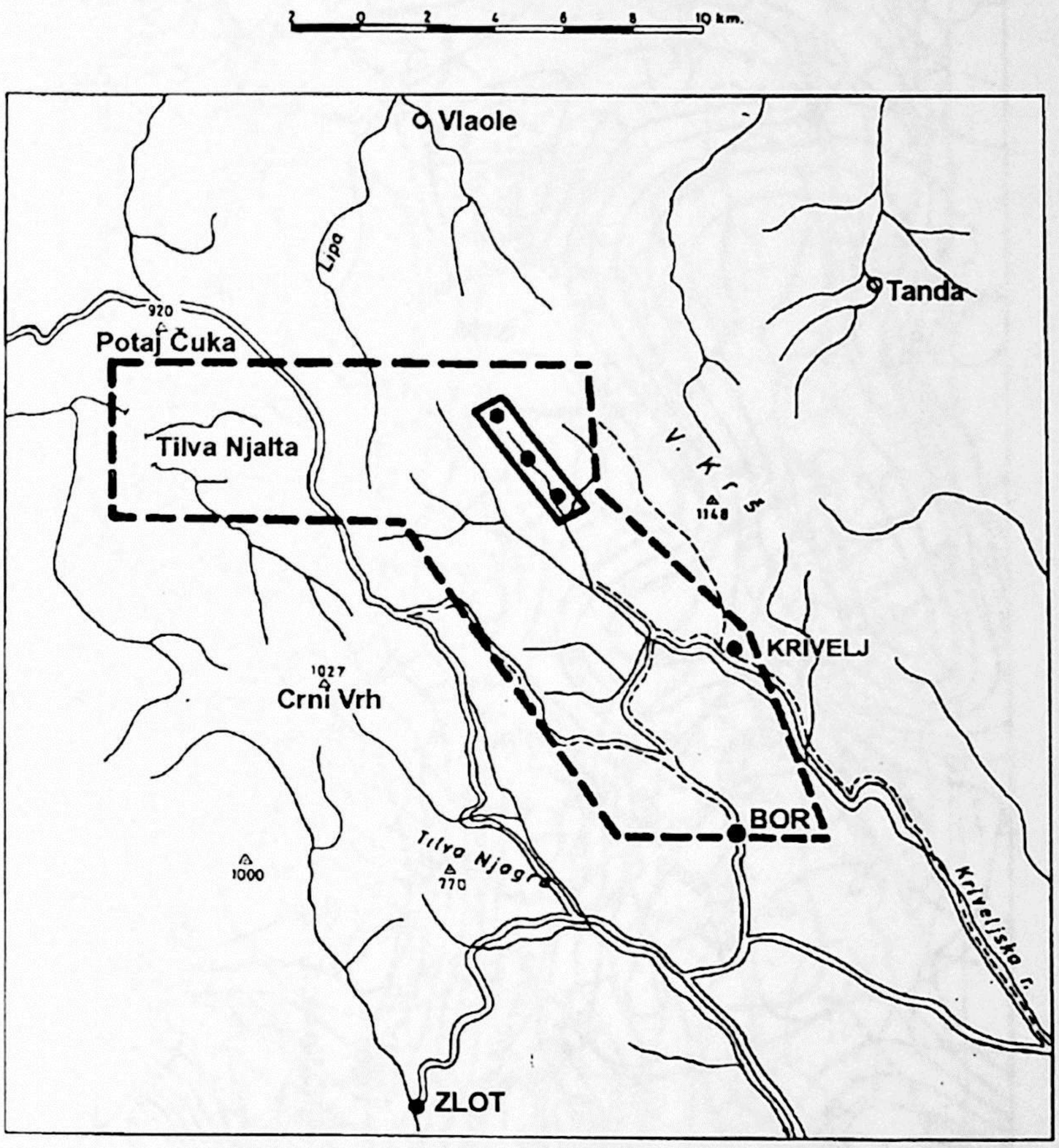
Međuzona odgovara prostoru sa tvorevinama argilitske alteracije. U ovoj zoni retko se zapažaju ekonomske koncentracije bakra.

Spoljna zona obično ne sadrži rudne koncentracije bakra. U njima su razvijene tvorevine hloritsko-epidotske alteracije.

Izložen model Louela i Džilberta treba prihvatiti kao jednu od mogućnosti, istina vrlo čestu u danas istraženim rudištima bakra, ali ne i kao jedini model koji može da objasni sva rudišta. Pre svega, napred navedene zone ne moraju uvek biti razvijene u jednom rudištu već samo neke od njih.

Modeli pojavljivanja porfirskih rudišta, napred opisani, predstavljali su teorijski oslonac primene metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja u TMK pri istraživanju terena perspektivnih sa gledišta otkrivanja dosada neotkrivenih porfirskih ležišta bakra.

PREGLEDNA KARTA
AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI ISPITIVANOG
TERENA U TMK



- - - - - - POVRŠINA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKI ISPITIVANA U 1983. god.

▭ POLOŽAJ POVRŠINE ISPITIVANOG TERENA PRIKAZAN NA SLIKAMA 68-69

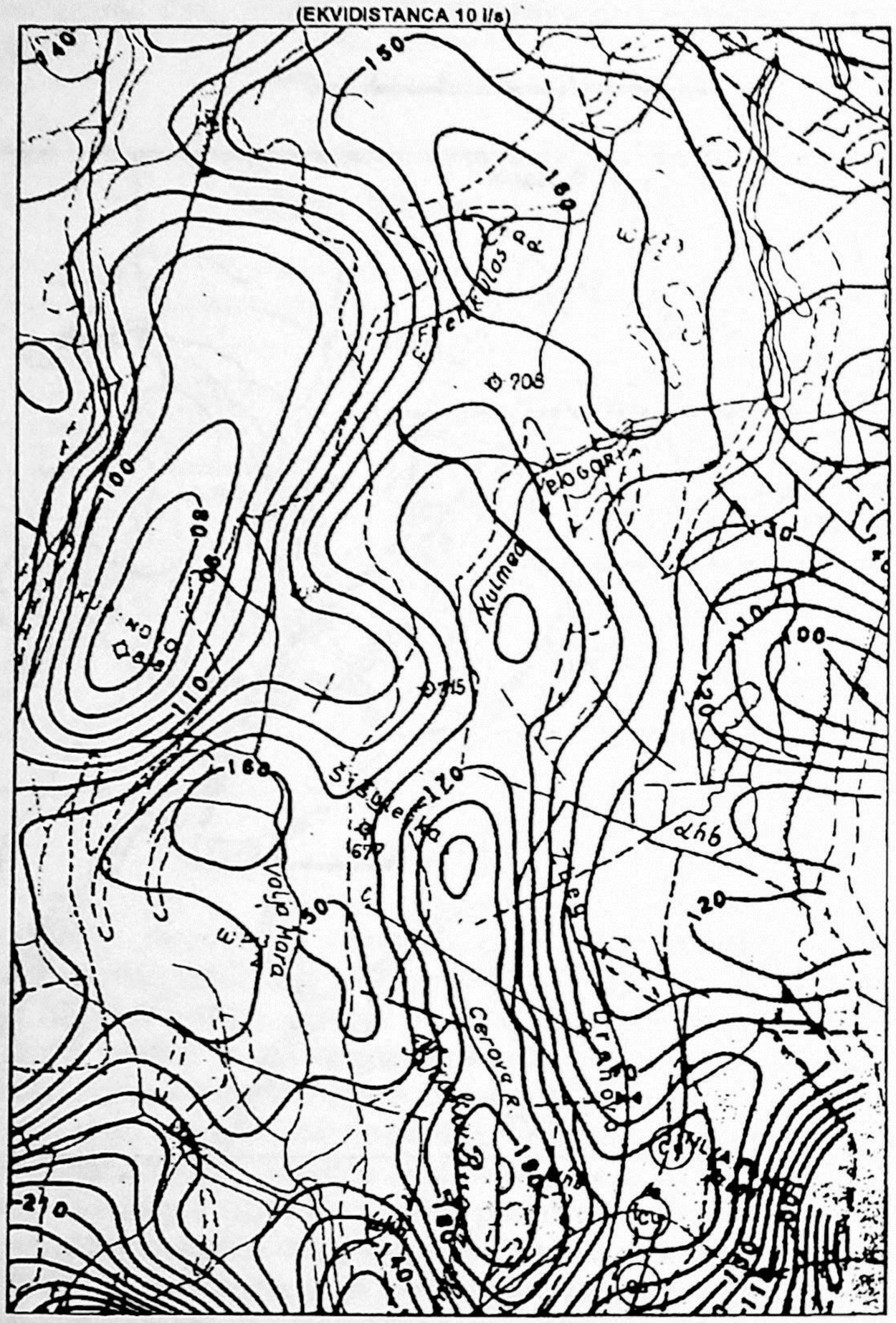
● ANOMALIJE INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA

Slika 67

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA
LEŽIŠTA CEROVA
(Timočki magmatski kompleks)

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(EKVIDISTANCA 10 l/s)

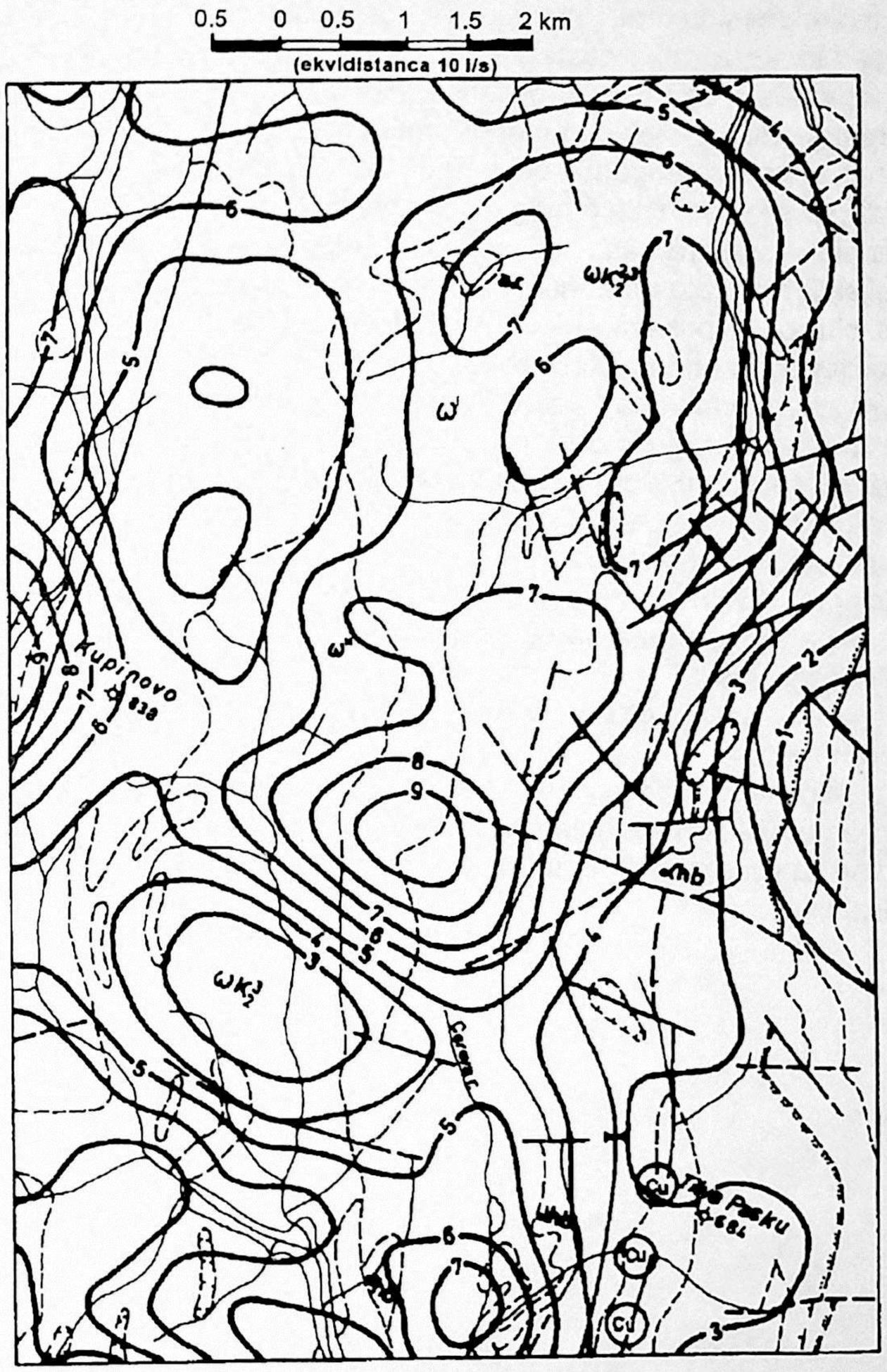


- SILIFIKOVANI VULKANITI I PIROKLASTITI
- αhb — ANDEZITI I DACITI I FAZE
- aα — AUGITHORNBLENDA ANDEZITI
- ω" — VULKANSKI AGLOMERATI I BREČE II FAZE
- ω' — VULKANSKI AGLOMERATI I BREČE I FAZE
- ωK_2^3 — AGLOMERATI I BREČE AUGITHORNBLENDA I HORNBLENDA ANDEZITA
- $\omega K_2^{2,3}$ — AGLOMERATI I BREČE ANDEZITA I DACITA
- HIDROTERMALNO IZMENJENE STENE
- Cu — MINERALIZACIJA BAKRA
- 150 / 160 — IZOLINIJE INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA (l/s)

Slika 68

KARTA KOLIČNIKA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA I TORIJUMA LEŽIŠTA "CEROVA"

(Timočki magmatski kompleks)



- SILIFIKOVANI VULKANITI I PIROKLASTITI
- αhb — ANDEZITI I DACITI I FAZE
- aα — AUGITHORNBLENDA ANDEZITI
- ω" — VULKANSKI AGLOMERATI I BREČE II FAZE
- ω' — VULKANSKI AGLOMERATI I BREČE I FAZE
- ωK₂³ — AGLOMERATI I BREČE AUGITHORNBLENDA I HORNBLENDA ANDEZITA
- ωK₂²,³ — AGLOMERATI I BREČE ANDEZITA I DACITA
- HIDROTERMALNO IZMENJENE STENE
- Cu — MINERALIZACIJA BAKRA
- IZOLINIJE INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA I TORIJUMA (l/s)

Slika 69

Osnovna pretpostavka je da je erozioni nivo na takvom stepenu da "rudna ljuska" nije odneta ili da je erozionim nivoom teren tako zasečen da je rudište bakra delimično otkriveno, odnosno da je zasečena "rudna ljuska" koja je najbogatija bakrom, a istovremeno zahvaćena procesima kalijumske metasomatoze. U tom slučaju moguće je uspostaviti, na indirektan način, vezu između orudnjenja bakra, kalijumske metasomatoze, sa jedne strane i radioaktivnog zračenja kalijuma-40, sa druge strane.

Na taj način, indirektnim putem, utvrđuje se postojanje orudnjenja bakra preko anomalija kalijumske komponente gama zračenja, nastale kao posledica procesa koji su se odigrali za vreme prolaza hidrotermalnih rastvora kroz prsline i pukotine matične i okolnih stena. Kao što je poznato ti procesi su kalijumska metasomatoza i istovremeno formiranje rudne mineralizacije bakra.

Rezultati primene metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja u TMK dobijeni iznad rudnog ležišta **"Cerova"** potvrdili su pretpostavku o mogućnosti primene ove metode koja se, u ovom slučaju, bazira na postupku analize spektra radioaktivnog zračenja, posebno njegovog dela u "prozoru" kalijuma.Na osnovi dobijenih rezultata urađene su karte intenziteta gama zračenja kalijuma za ispitivan prostor od kojih je na slici broj 68 prikazana samo lokalnost "Cerova".

Na slici br 69 prikazan je odnos intenziteta gama zračenja kalijuma i torijuma.

Izmenjena i mineralizovana zona "Cerova" predstavlja severozapadni deo velike promenjene zone koja se pruža od Bora, na jugu, do Strunjaka, na severu. Vulkanoklastiti, kao i plutonske stene u ovom području su na znatnom prostoru hidrotermalno izmenjene i mineralizovane. Hidrotermalne promene su raznovrsne i skoro uvek se preklapaju.

Na slci br.68 prikazana je registrovana anomalija intenziteta gama zračenja kalijuma veličine 140-200 i/s, pravca pružanja SZ-JI, koji se poklapa sa rasednom i hidrotermalno izmenjenom zonom, koja počinje od Kraku Bugaresku, pruža se dolinom Cerove reke preko Šušulejke i izvorišnog dela potoka Kulmea Pogori i Frenkulas.

Na karti odnosa intenziteta gama zračenja K / Th prikazana je šira anomalija sa vrdnostima od 6 do 9.

Pozitivni rezuiltati dobijeni iznad ležišta "Cerova" uticali su na to da se donese odluka o primeni metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja iznad celog TMK od Majdanpeka do Bučja, na jugu, koja su završena 1986. godine, a čiji rezultati su nam otvorili nove perspektivne prostore za pronalaženje ležišta bakrove mineralizacije.

26.0. PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU NAFTE I GASA

Geofizička ispitivanja nafte i gasa mnogo godina unazad izvode se prvenstveno seizmičkim metodama. Poslednjih godina cena seizmičkih ispitivanja je dramatično narasla što je u svetu uticalo na težnju korišćenja drugih metoda, koje bi svele primenu seizmičkih metoda na one prostore na kojima bi one dale najbolje rezultate, a sa ciljem da se u najvećoj meri smanje troškovi istraživanja. To je bio razlog zbog kojeg se povećalo interesovanje za primenu **AEROGEOFIZIČKIH (AEROMAGNETSKIH i AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH)** metoda. Ove metode omogućavaju ispitivanja velikih prostora za relativno kratak vremenski period i relitivno male troškove. Dobijeni rezultati služe za usmeravanje, naravno i dalje nezamenjivih, seizmičkih metoda za ispitivanja na najperspektivnije površine.

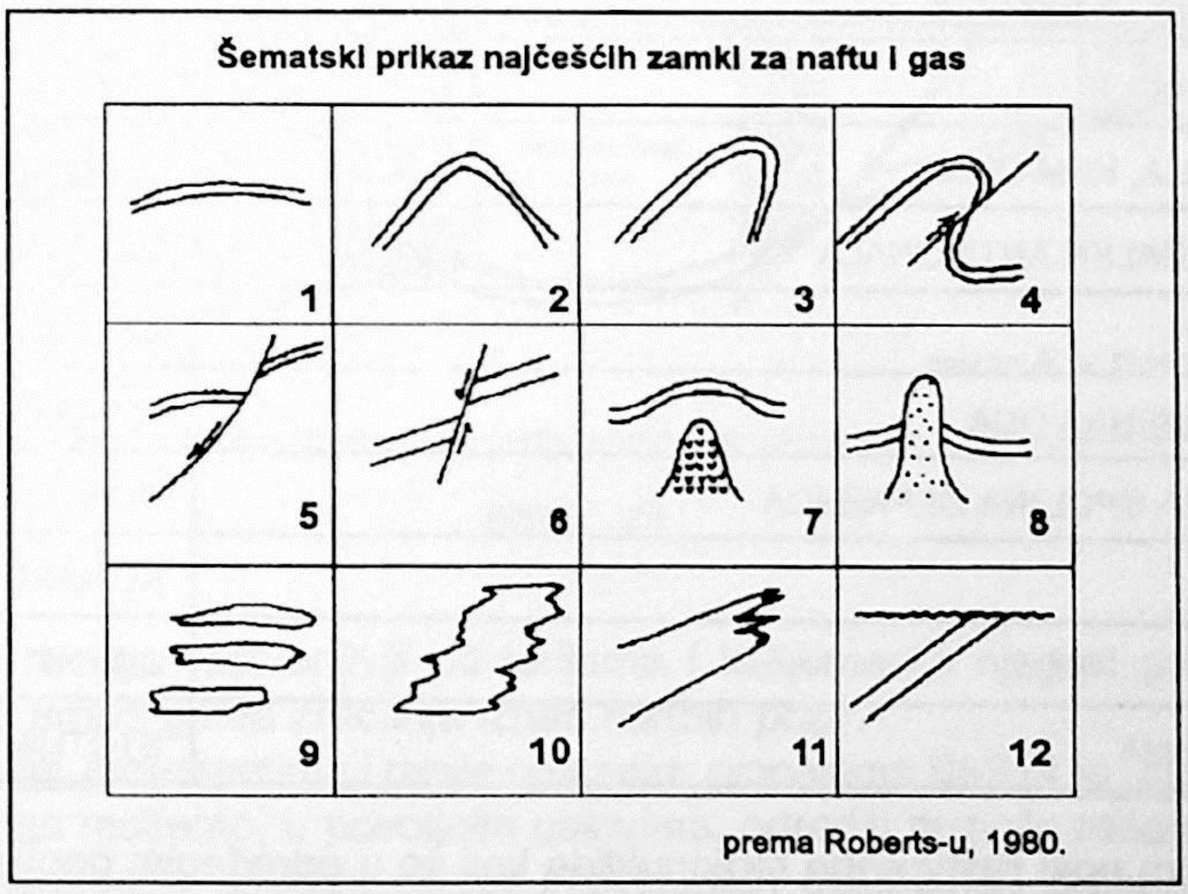
KONVENCIONALNE tehnike i metode adaptirane su za identifikaciju STRUKTURA perspektivnih za akumulaciju nafte i gasa. Ovim metodama pripada i metoda AEROMAGNETSKIH ispitivanja.

NEKONVENCIONALNE tehnike ispitivanja, kao što su GEOHEMIJSKE metode i tehnike i AERO-RADIOMETRIJSKE metode i tehnike, adaptirane su za identifikaciju HEMIJSKIH ALTERACIJA u sedimentima koji leže iznad rezervoara nafte i gasa, identifikaciju prisustva ugljovodonika vertikalno ispod površine terena i identifikaciju posledica hemijskih procesa čiji je krajnji efekat anomalijsko polje radioaktivnog gama zračenja na površini terena, vertikalno iznad ležišta nafte i gasa.

Procesi na kojima se zasnivaju nekonvencionalne tehnike baziraju se na činjenici da se formacijski fluidi i gasovi dižu vertikalno na više, ili skoro vertikalno, kroz sedimente sekcija iznad ležišta ugljovodonika. Rezultat te migracije je mogućnost registrovanja manifestacije prisustva ugljovodonika, na površini, preko fenomena geohemijskih anomalija i anomalija gama zračenja.

Do sada je postojalo generalno shvatanje o nepropustljivosti slojeva prilikom postavljanja koncepcija mehanizma "hvatanja" nafte i gasa. Ovo je jedan od primarnih razloga zbog kojih nekonvencionalne metode, posebno aeroradiometrijske, nisu bile opšte prihvaćene do zadnjih godina.

Ključna činjenica ovde je prihvatanje nužnosti i koncepta vertikalne migracije nafte i gasa kroz slojeve iznad stvorenih rezervoara, kroz niz mikroprslina i pukotina.



Slika 70

Mada su generalni principi krajnje komplikovani, veliki broj registrovanih podataka na različitim stranama sveta ukazuje da vertikalna migracija nije teorija već je to EMPIRIJSKI izvedena činjenica.

Jedino je u ležištu nafte i gasa fluid jasno koherentan, dok se izvan njega događaju određeni fizičko-hemijski procesi čije posledice na površini možemo uočiti.

Na slici 70 prikazano je 12 bazičnih vrsta "zamki" za naftu i gas. Ilustracije od (1-8) prikazuju strukturne zamke, a ilustracije (9 -12) prikazuju stratigrafske zamke oblika prizme i slično čiji sastav čine različita prozna tela kao što su PEŠČARI i td. Sve prikazane zamke imaju jednu značajnu karakteristiku: primaju i otpuštaju vodu iz dubine - FUNKCIONIŠU KAO AKTIVNI FOKALNI MEHANIZMI i na taj način čine da površinske vode nose ugljovodonike i ostale organske materije naviše.

Ako "zamke" imaju odgovarajući sastav i kvalitet mogu zadržati naftu i gas kao odvojene faze dok u isto vreme kroz njih prolazi voda. Separacija je udružena sa naglim promenama pritiska i temperature, a verovatno i saliniteta, što je u direktnoj vezi sa promenom pravca kretanja vode od boka ka površini. GRADIJENT VERTIKALNOG PRITISKA JE PREKO 200 PUTA VEĆI OD GRADIJENTA HORIZONTALNOG PRITISKA.

TABELA XVIII

POLOŽAJ I NAFTNO POLJE	GLAVNI AUTOR
RUMUNIJA	BISIR
SSSR, REGION UKHTA	BOGOJALENSKI
EGIPAT, EL ALAMEIN	EL ŠAZLI
SSSR, OBLAST VOLGOGRADA	GLAGOLEVA
SAD, JUGOISTOČNI KANZAS	GOT
SAD, KALIFORNIJA DESETA SEKCIJA	KELOG
IZRAEL, DOLINA RIFTOVA	MAZOR
SSSR, DEPRESIJA BUKHARA-KIVA	SEMENOV
SAD, KALIFORNIJA DESETA SEKCIJA	SIKA
KOLUMBIJA, LA CIRA	TRAP
SSSR, ZAP. TURKMENIJA, KUM-DAG	JERMAKOV
SSSR, BINAGADU-KURDALEN ANTIKLINALA	ZOLOTOVITSKAJA
SSSR, DONJA VOLGA	ATONJIN
KANADA, ALBERTA CRVENA VODA	PRAJNGL
RUMUNIJA, KARPATSKA SPOLJNA DEPRESIJA	GOH
SSSR, BAŠKIRIJA	KOMAROV
SSSR, TURKMENIJA	SIMON
SAD, TEKSAS, OKLAHOMA	STOTHART, LANG, ŠENG

Voda sa sobom nosi rastvorene radionuklide koji se u određenim geohemijskim procesima, u povoljnim redukcionim uslovima, obaraju kao nerastvorljiva frakcija, najčešće VERTIKALNO iznad rezervoara nafte i gasa.

Posledica opisanog procesa su geohemijske i anomalije radioaktivnog zračenja locirane na površini terena, vertikalno iznad ležišta nafte i gasa. Ovakve anomalije su registrovane iznad velikog broja ležišta nafte i gasa u svetu. Na TABELI XVIII navedena su neka naftonosna polja na kojima su registrovane radiometrijske anomalije.

Do sada je postavljeno nekoliko teorija čiji je bio cilj da objasne anomalije radioaktivnosti iznad ležišta nafte i gasa (HOROVIC 1949., PIRSON 1969., DUSHCHERER 1980. i 1981.)

MORSE i RANA 1983. razradili su model koji se bazira na pogodnosti geohemijskih svojstava tla i vezivanju rastvorenih radionuklida iz vode. Oni su konstatovali razliku između karakteristika površinskih sedimenata, koji su bili izloženi dejstvu ugljovodonika i onih koji nisu.

U njihovom modelu u OKSIDACIONIM uslovima pri površini gas - METAN prelazi,u hemijskoj oksidaciji, u ugljen dioksid (CO_2) i VODU po formuli:

$$CH_4 + 2O_2 = 2H_2O + CO_2 \quad \text{.....(53)}$$

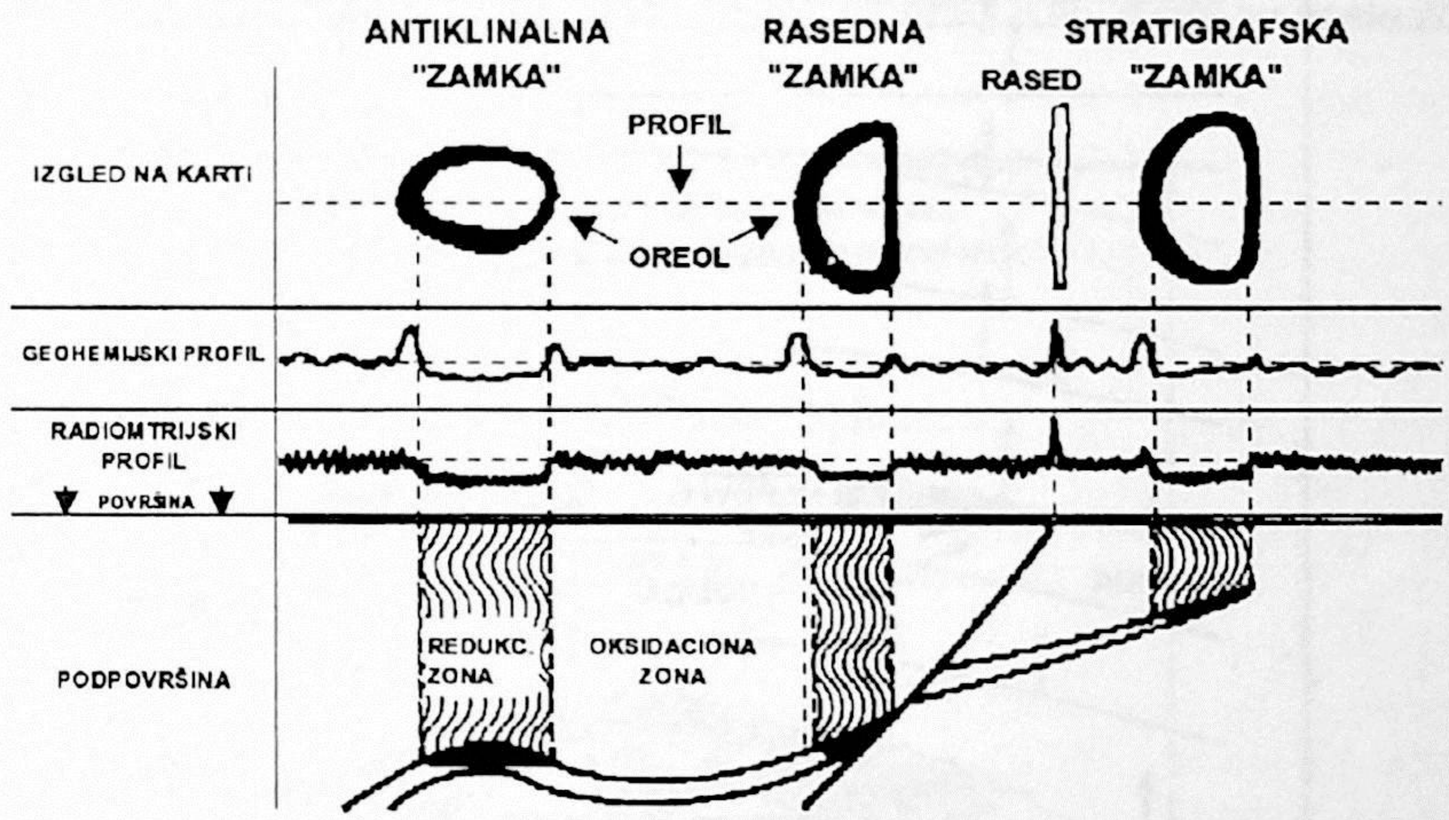
dalje ugljendioksid formira karbonate u procesu prikazanom formulom:

$$CO_2 + H_2O + CaCO_3 = Ca^{++} + 2HCO_3 \quad \text{.....(54)}$$

Ovako formirani karbonati povlače geohemijske procese koji obaraju radionuklide rastvorene u površinskoj vodi, koja dolazi iz ležišta nafte i gasa. Novostvoreno, oboreno, jedinjenje je NERASTVORNO.

Proučavanjima je utvrđeno da radijacija radijuma ne može biti registrovana, jer samo 2% radijuma stiže na površinu, dok svih 100% urana stiže na površinu, sa dubine od 250 m .

Izgled anomalija radioaktivnosti iznad različitih rezervoara nafte i gasa



prema A. V. Gallagher-u, 1982.

Slika 71

Pošto je uran mnogo rastvorljiviji od torijuma i kalijuma-40 njegovi produkti raspadanja će formirati anomaliju sumarnog gama zračenja iznad naftnih polja.

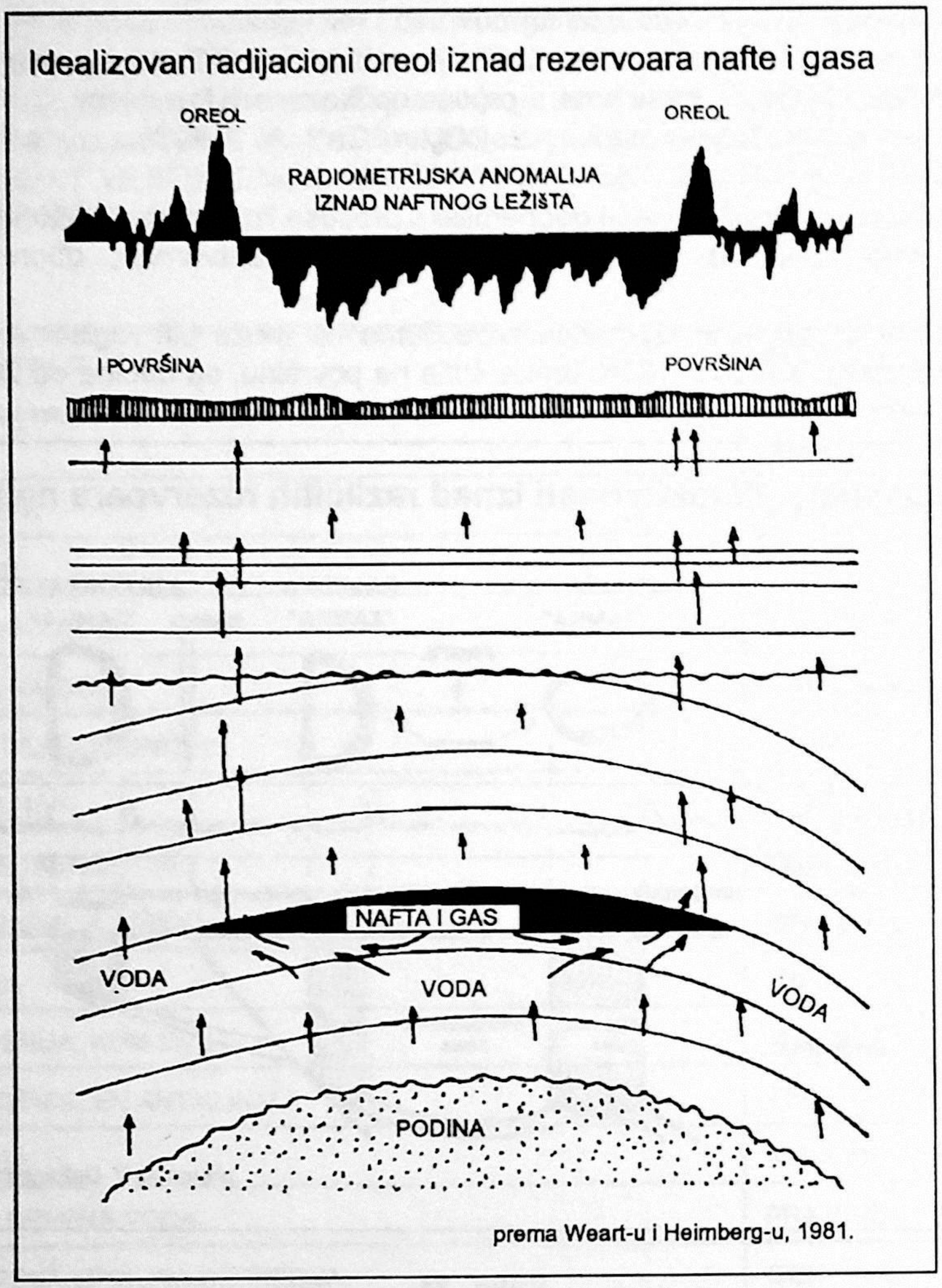
Saglasno gornjim argumentima i ranije opisanim procesima Bi-214 je dobar za detekciju gama zračenja, na osnovi čega možemo, u povoljnim uslovima, odrediti pozicije rezervoara nafte i gasa.

Radioaktivne anomalije dobijaju različit individualan oblik iznad grebena antiklinale, raseda, stratigrafske zamke (slika 71).

Kada je akumulacija nafte i gasa ispražnjenja ili je u poslednjoj fazi produkcije neki površinski efekti će nestati. Verovatno slabljenje pritiska ugljovodonika utiče na prekidanje prirodne emanacije ka površini.U tom slučaju nestaju samo anomalije ugljovodonika. Radiometrijske anomalije alteracije tla egzistiraće, kao fosilne anomalije, dugo posle pražnjenja rezervoara.

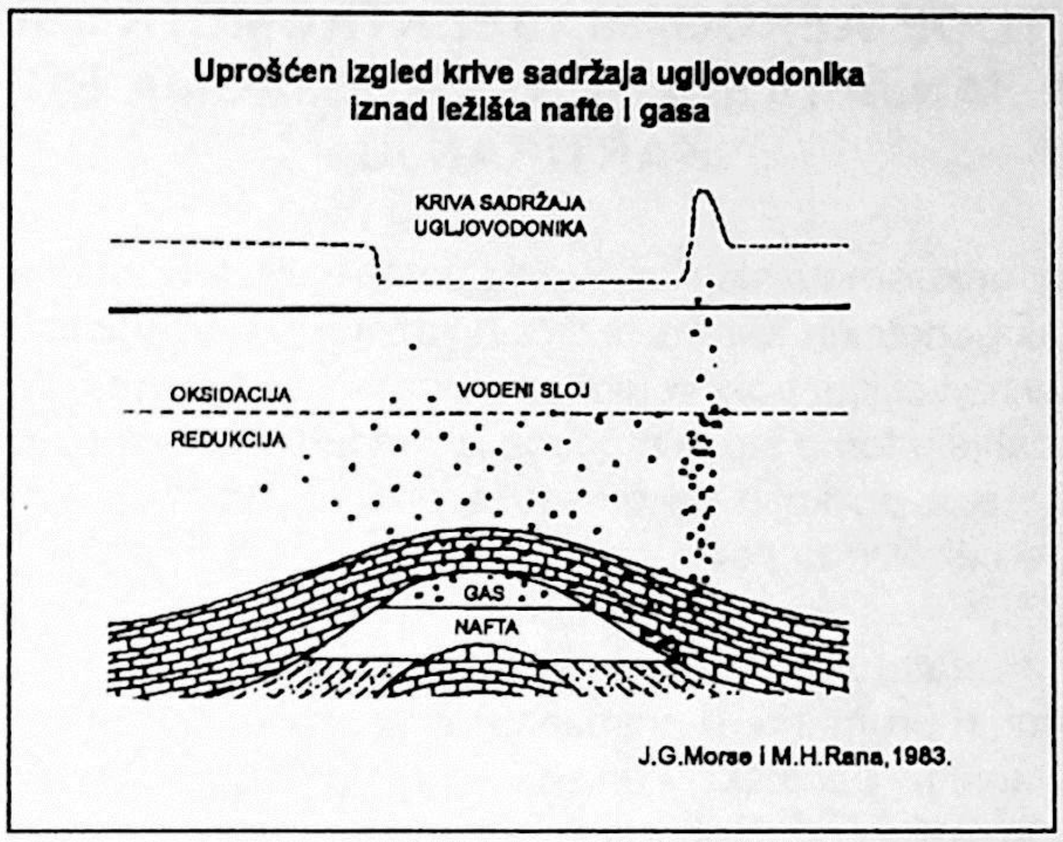
Na sledećih nekoliko slika prikazani su idealizovani modeli koji ukazuju na mogućnosti primene metode radiometrijskih ispitivanja pri istraživanju nafte i gasa.

Na slici 72 prikazan je izgled krive gama zračenja i anomalije radioaktivnosti registrovane na površini terena vertikalno iznad bokova rezervoara nafte i gasa. Veličina strelica indicira relativan intenzitet kretanja vode i zasićenja radio-nuklidima(prema WEART i HEIMBERG-u,1981.).



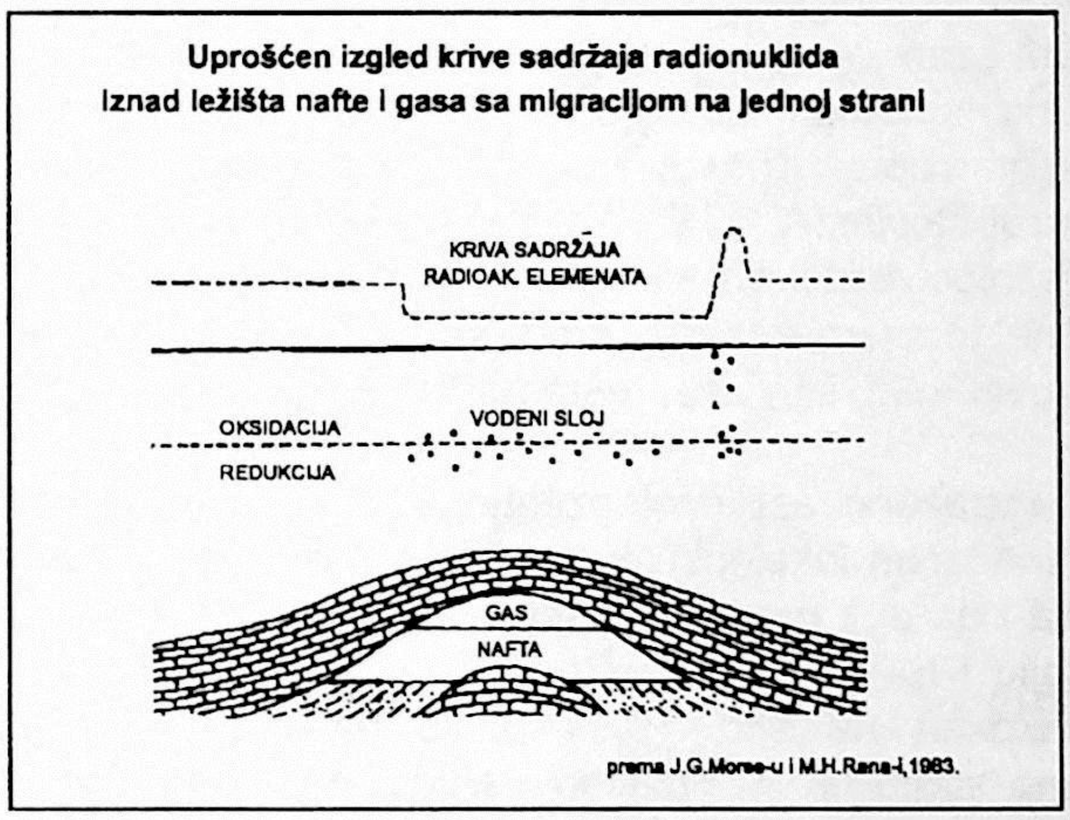
Slika 72

Na slikama 73 i 74 prikazani su uprošćeni geohemijski i radiometrijski dijagrami dobijeni iznad ležišta nafte i gasa kod kojeg je iz nekih razloga samo sa jedne strane postojala mogućnost migracije ugljovodonika i vode.



Slika 73

Prema MORSE-u i RANA-i, 1983. u oksido-redukcionim uslovima dolazi do ranije opisanih hemijskih procesa, obaranja radionuklida, u nerastvornu frakciju i njihovog iznošenja na površinu terena, pri čemu se formira anomalijski sadržaj radioaktivnih minerala u tlu, a čije su posledice anomalije radioaktivnostii.



Slika 74

Iz prikazanih primera možemo zaključiti da je moguće uspešno primenjivati metodu aerogamaspektrometrijskih ispitivanja pri istraživanu nafte i gasa koji se nalaze kako u STRUKTURNIM tako i u STRATIGRAFSKIM "zamkama".

Posebno je značajna mogućnost primene ove metode pri istraživanju STRATIGRAFSKIH "zamki" jer se smatra da su praktično istraženi svi prostori u Vojvodini sa strukturnim "zamkama" i da je u ovom trenutku neophodno pronaći neku metodu koja bi bila od pomoći pri seizmičkim ispitivanjima stratigrafskih zamki, posebno zbog toga što znamo da pri primeni seizmičkih metoda u ovakvim slučajevima pojavljivanja kolektora nafte i gasa ima velikih problema pri interpretaciji rezultata.

27.0. PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA U CILJU PRIKUPLJANJA DODATNIH INFORMACIJA PRI GEOLOŠKOM KARTIRANJU

Metoda aerogamaspektrometrijskih ispitivanja pruža veliki broj informacija koje se mogu koristiti pri izradi geoloških i metalogenetskih karata različitih razmera, od regionalnih do detaljnih. Poseban značaj imaju ova ispitivanja na velikim pokrivenim površinama, na kojima nema izdanaka, rečnih dolina, jaruga i sl. Najveća vrednost je u tome što je moguće iz vazduha registrovati gama zračenja koje potiče sa geoloških formacija ili stena do kojih se ne može prići sa površine terena. U toku primene ove metode, takođe, ispituje se celokupna površina terena.

Dodatne informacije, koje se dobijaju primenom metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja, omogućavaju geologu interpretatoru da razreši neke dileme o geološkim granicama, o stepenu različitih hidrotermalnih izmena i drugih promena, o prisustvu rudnih ležišta i slično.

Na slici 75 prikazana je geološka karta sa izolinijama intenziteta gama zračenja kalijuma. Prikazana površina nalazi se južno od Srebrenice, a zahvata granicu karbonskih peščara, argilošista, škriljaca i mermera, sa jedne strane, i mezozojsko-kenozojskih sedimenata, sa druge strane. Treći, vrlo značajan, član u geološkom sklopu terena predstavljaju dacito-andeziti srebreničke eruptivne oblasti. Četvrti značajan faktor na ovom prostoru su hidrotermalni rastvori donosoci bogate mineralizacije Pb-Zn.

Na slici su označene geološke granice određene na osnovi geoloških metoda.

Moguće je, međutim, odrediti i geofizičku granicu koja predstavlja granicu različitih veličina fizičkih parametara, kao što su granica različitih otpornosti (ρ), granica različitih ubrzanja sile teže (Δ g), granica različitih brzina prostiranja seizmičkih talasa i td. Tako je i moguće odrediti i granice različitih sadržaja radioaktivnih elemenata u stenama i, kao posledicu toga, granicu različitih intenziteta gama zračenja.

Na ovom mestu prikazano je na koji način se mogu koristiti podaci o intenzitetu gama zračenja kalijuma za opisanu površinu. Isprekidanom linijom prikazana je geofizička granica, koja je dobrim delom saglasna sa geološkom granicom. Konstatovana su odstupanja od geološke granice, na užim lokalitetima, koje smo označili slovim (A, B i C). Veličina intenziteta gama zračenja kalijuma mezozojsko -kenozojskih tvorevina (krečnjaci, trijaske starosti, laporovito-peskoviti krečnjaci laporci i peščari, kredne starosti, i konglomerati i gline, tercijarne starosti, kreće se od 30-50 i/s. Veličina intenziteta gama zračenja kalijuma stena paleozojske starosti, škriljaca, metamorfisanih peščara, argilošista i mermera, kreće se od 100 - 200 i/s .

S obzirom na jasno izražene razlike intenziteta gama zračenja kalijuma i nesaglasnost geološke i geofizičke granice na označenim lokalnostima možemo očekivati da su te nesaglasnosti posledica dacito-andezitskog proboja i da duž mogućih raseda, koji nisu vidljivi na površini, a koji su mogli biti putevi deponovanja, postoji (Pb - Zn) mineralizacija.

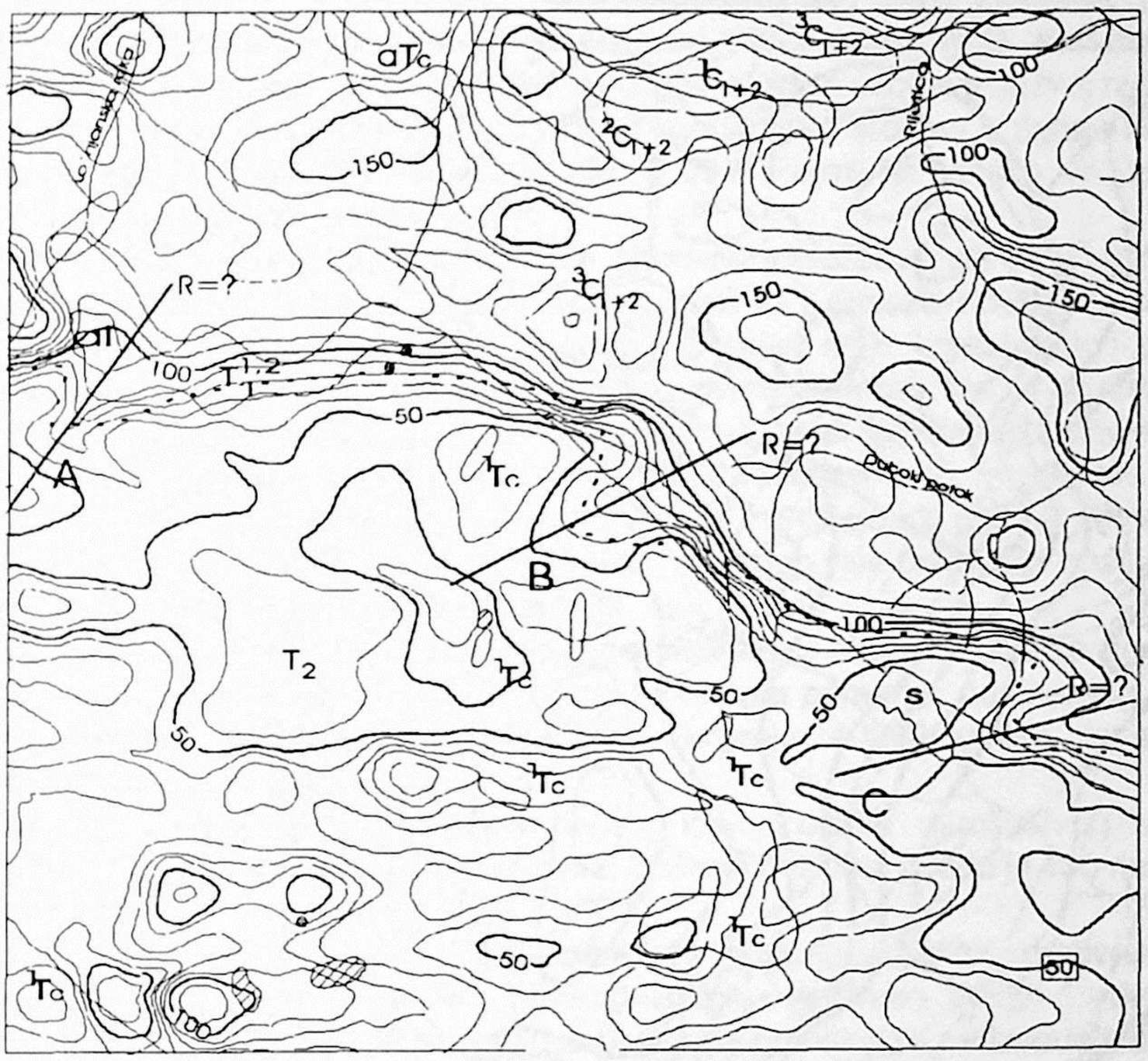
Drugi primer, prikazan na slici 76, ukazuje na mogućnost određivanja smera pada kvarclatitskog tela, naravno samo na kvalitativnom nivou, na lokalnosti Beli Kamen u rudnom polju "Rudnik". Na slici 76 uočavamo da su izolinije na jugozapadnom i južnom delu kvarclatitskog tela na bliskom rastojanju dok se rastojanje izolinija povećava na severnom i severoistočnom delu. Na osnovi toga možemo predpostaviti da kvarclatitsko telo pada u pravcu severoistoka, a da je južni- jugozapadni kontakt oštar prema okolnim stenama kredne starosti.

Na prikazan način, koji ukazuje samo na deo mogućeg korišćenja podataka aerogamaspektrometrijskih ispitivanja u okviru geoloških i metalogenetskih proučavanja, geolozima se otvaraju mogućnosti rešavanja problema po trećoj dimenziji i onda kad na površini terena nema nikakvih geoloških indikacija.

GEOLOŠKA KARTA SA IZOLINIJAMA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA (područje Srebrenice)

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

(ekvidistanca 10 l/s)



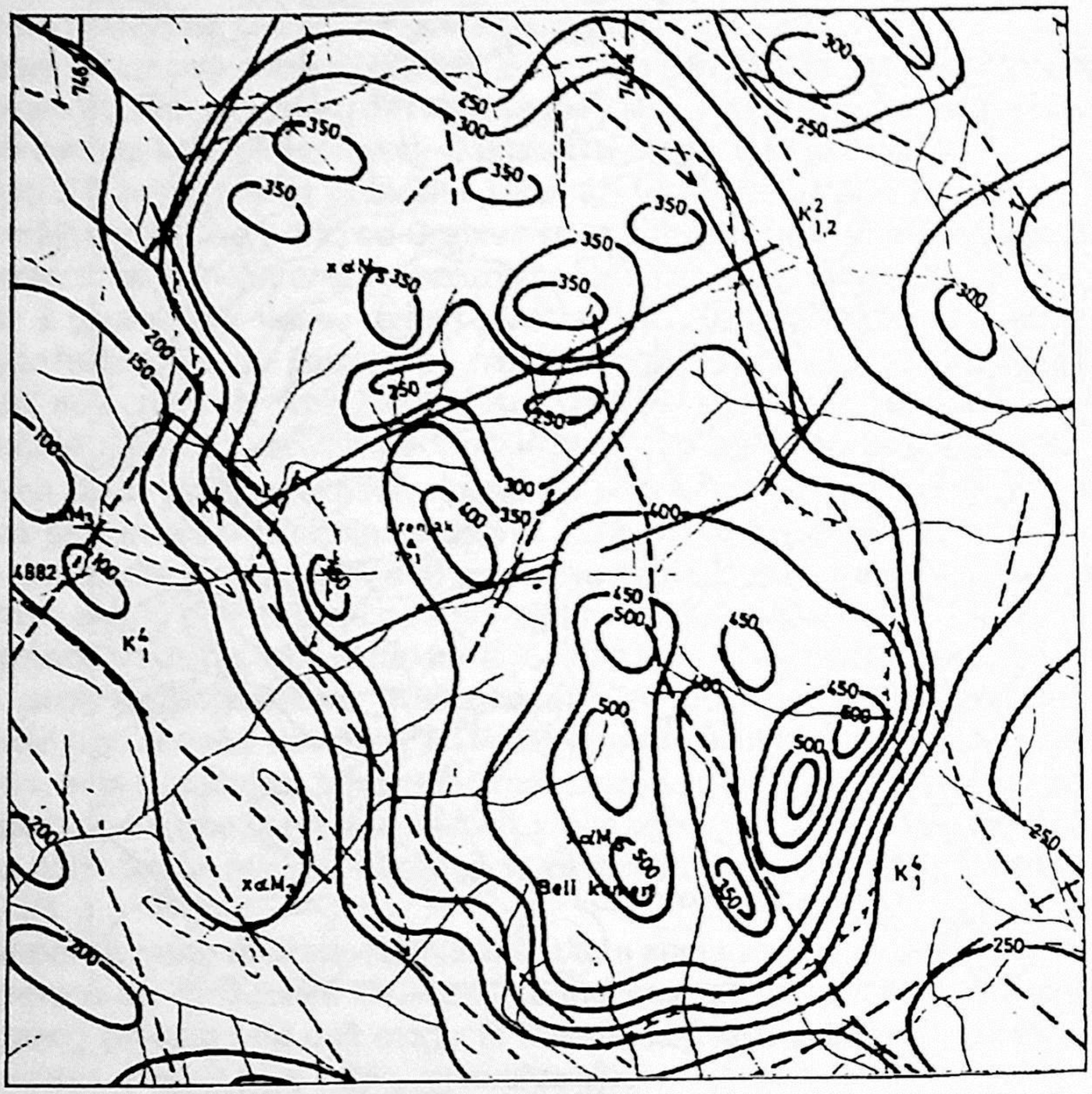
al	aluvion	C_{1+2}	filiti,škriljci i crni krečnjaci
S	sipar		pojave boksita
aTc	andeziti		ležište boksita
1Tc	konglomerati i gline	<50 50-70 70-100 >100	intenzitet gama zračenja (i/s)
T_2	krečnjaci		
$T_1^{1,2}$	kvarcni peščari,konglomerati i breče	50 60	izolinije intenziteta gama zračenja kalijuma (l/s)
	dijabazi i tufovi		geološka granica određena na osnovu podataka AGS ispitivanja
$^3C_{1+2}$	peščari,argilošisti,konglomerati	ABC	položaj deformacija predpostavljene geofizički određene geološke granice
$^2C_{1+2}$	škriljci i metamorfisani peščari	R=?	predpostavljen rased moguće hidrotermalno orudnjen

Slika 75

KARTA INTENZITETA GAMA ZRAČENJA KALIJUMA LOKALNOSTI BELI KAMEN (Rudno polje Rudnik)

0.25 0 0.25 0.5 0.75 1 km

(EKVIDISTANCA 10 l/s)



$X\alpha M_3$ KVARCLATITI

$K^2_{1,2}$ LAPOROVITI KREČNJACI ALEVROLITI, ARENITI

K^4_1 KREČNJACI

UTVRĐENA GEOLOŠKA GRANICA

PREDPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA

250 300 IZOLINIJE INTENZITETA RADIOAKTIVNOG GAMA ZRAČENJA KALIJUMA (l/s)

Slika 76

28.0. VEŠTAČKA RADIOAKTIVNOST

Veštačku radioaktivnost prvi su otkrili supruzi Žolio-Kiri, zbog čega su 1935. god. dobili Nobelovu nagradu za hemiju. Oni su korišćenjem snažnog izvora radioaktivnog zračenja polonijuma izlagali zračenju niz lakih hemijskih elemenata pri čemu su konstatovali da neki od njih mogu da postanu i sami radioaktivni. To znači da su oni postali radioaktivni veštačkim putem. Takođe su utvrdili da izotopi koji pri tome nastaju slede zakon eksponencijalnog raspada kao što je to slučaj sa prirodno radioaktivnim nuklidima. Novo je bilo da su radio izotopi emitovali nepoznatu vrstu zračenja, pozitrone čije je postojanje ranije bilo predviđeno od strane Pola Dajreka 1902., a koje je D. Anderson 1905. otkrio u kosmičkom zračenju (I. Draganić, 1990.). Otkriće je imalo snažan uticaj na razvoj nuklearne fizike tako da se broj sintetizovanih radio nuklida ubrzo popeo na nekoliko stotina, a danas ih ima preko 2500.

Ubrzo po otkriću veštačke radioaktivnosti Enriko Fermi je odlučio da izučava nuklearne transformacije koristeći neutron kao projektil.

Ako preskočimo dug niz zaslužnih fizičara i hemičara možemo reći da je pod rukovodstvom E. Fermija, dobitnika Nobelove nagrade za rad sa neutronima i sintezu novih radioaktivnih izotopa, pokazana mogućnost praktične realizacije lančanog procesa fisije izgradnjom i primenom prvog nuklearnog reaktora u Čikagu 1942. U tom prvom nuklearnom reaktoru bio je zametak svih problema koji će nastupiti sa širenjem primene nuklearne energije, čovekovog dobrog sluge a zlog gospodara.

Već posle pet godina u punoj snazi se pokazala razorna moć nuklearne energije nastale cepanjem jezgra urana. Krajem drugog svetskog rata (1944.god.) ona je odnela preko 120000 života u japanskim gradovima Hirošimi i Nagasakiju, a mnogo više preživelih nosi i danas neizlečive posledice koje se prenose i na naredne generacije.

Nuklearno oružje, srećom, kasnije nije upotrebljeno u cilju uništavanja žive vojne sile, iako postoje indicije da su i Američka i Sovjetska armija testirala primenu nuklearnog oružja na nekim vojnim vežbama kada je, na primer, u SSSR-u poginulo preko 40000 vojnika, sa ciljem proučavanja efekata eventualnog nuklearnog rata.

Najšira primena nuklearne energije je danas, ipak, u okviru miroljubivog korišćenja velikog broja industrijskih i istraživačkih nuklearnih reaktora. U ovom trenutku u radu je 430 nuklearnih elektrana dok je u izgradnji 99.

Dugoročno gledano nestanak fosilnih goriva i nepostojanje alternativnih izvora energije primoraće čovečanstvo da bar sledećih 30 - 50 godina, koliko je prema nekim predviđanjima potrebno do ovladavanja procesima fuzije, koristi nuklearne fisione procese za proizvodnju električne energije. To će i dalje predstavljati veliku opasnost po zdravlje i opstanak čoveka pa i života na zemlji.

U proteklom vremenu u kojem se nuklearna energija koristi u miroljubive svrhe dogogilo se više puta da se otrgnu kontroli razorne nuklearne sile i ugroze veliku populaciju ljudi i životinjskog sveta. Mnoge informacije o takvim događajima iz različitih političkih, vojnih i drugih razloga nisu objavljene u trenutku njihovog događanja.

Tek sad, posle 35 godina, saznajemo za havariju koja se dogodila 1957. godine u Čeljabinskoj oblasti u jednom preduzeću tzv. "odbrambenog profila" u kojem je došlo do obične eksplozije, dakle ne nuklearne. Posledica te eksplozije bila je rušenje kontejnera sa radioaktivnim materijalom. Eksplozija je podigla oblak radioaktivne supstancije koji je pokrio oko hiljadu kvadratnih kilometara površine terena. Iz te zone evakuisano je oko deset hiljada žitelja. Tek dvadeset godina kasnije 1978. privredna aktivnost je na 80 % zagađenog zemljišta obnovljena.

Havarije o kojima javnost ništa nije znala događale su se dug niz godina. U januaru 1974. god. eksplozija, bez žrtava, na prvom bloku lenjingradske atomske centrale; 1978. godine izgoreo je jedan blok belojarske atomske centrale; Černobilj je imao prvu nezgodu 1982. godine; u oktobru 1982. god. eksplodirao je generator jermenske A-centrale, mašinska sala je izgorela, a većina personala je pobegla ostavivši reaktor bez kontrole. Avionom su stigli drugi stručnjaci i spasili reaktor; juna 1985. godine havarija u balakovskoj A-centrali odnela je četrnaest života. Razlog? "Neiskusan operativni personal".

Da se nisu nesreće događale samo u SSSR-u govori nam slučaj nuklearne elektrane u Vindskejlu, koji se dogodio 1957. godine u Velikoj Britaniji, na nuklearnom reaktoru koji je proizvodio plutonijum za vojne potrebe. Akcident se dogodio za vreme jedne od regeneracija grafita pri čemu je došlo do požara a vatra zahvatila grafit i gorivne elemente. U toku dva dana velika količina fisionih produkata je izbačena u atmosferu, baš kao 30 godina kasnije u Černobilju, i dospela u mnoge delove Velike Britanije i neke delove Evrope. Kontaminacija je bila velika unutar pet stotina kvadratnih kilometara.

Druga velika nesreća koja se dogodila u zemljama zapadne tehnologije zabeležena je 28. marta 1979. god. na već dobro znanom, "Ostrvu tri milje" kad je jezgro reaktora počelo naglo da se greje. Uprošćeno, ova havarija je počela banalnim otkazivanjem jedne komande, "a operatori su učinili sve ostalo". Prema nalazu komisije operatori su u konfuziji koja je sledila automatskoj obustavi rada reaktora, a koja je trajala nekoliko časova, donosili pogrešne odluke u pogrešno vreme. Sud reaktorskog jezgra ostao je gotovo bez vode. Radiogena toplota je izazvala pregrejavanje gorivnih elemenata koji su počeli da se tope. Sledećeg dana čuo se tup udar. Smatra se da je to bila hidrogenska eksplozija u "srcu" reaktora, iako to onda niko nije shvatio. Dugo se nije znalo koliko je havarija bila teška. Sve do polovine 1981. godine nije se moglo ući u glavnu zgradu, čak ni sa zaštitnim odelom.

Ipak, prekretnica u shvatanju o mogućim opasnostima vezanim za havarije nuklearnih reaktora dogodila se 1986. godine za vreme i posle, do sada najveće, havarije jednog nuklearnog reaktora koja se dogodila na četvrtom bloku nuklearne centrale "V.I.Lenjin" u Černobilju, SSSR.

Ko zna da li bi i ovakva katastrofa bila sakrivena od stanovništva da je to bilo moguće? Zahvaljujući satelitskim osmatranjima, američki eksperti su otkrili havariju i alarmirali su ugrožene zemlje i organizacije odgovorne za zaštitu stanovništva.

Posledice su bile katastrofalne. Oko 130000 ljudi je evakuisano. Mnogi su poginuli, a veliki broj je ozračen. Gotovo cela Evropa je kontaminirana, a povaćana radioaktivnost je konstatovana čak i u Japanu. Jugoslavija je, prema izveštaju IAEA, bila jedna od najviše kontaminiranih država Evrope, tačnije četvrta zemlja po količini deponovanog cezijuma-137 po kvadratnom metru (Science, decembar, 1988. g, (TABELA XIX), o čemu naša javnost, na žalost, nije upoznata.

Naučnici su izračunali da je mogućnost katastrofe u nekoj od nuklearnih centrala u "trećem svetu" jedan prema sedamnaest.

U toku protekle dve do tri godine bili smo suočeni sa velikom opasnošću koja nam preti od bugarske nuklearne elektrane "Kozloduj", koja se nalazi na samo 60 km od istočne granice Srbije. Ako tome dodamo još deset nuklearnih elektrana koje se nalaze u zemljama prvim susedima i preko dve stotine onih koje su u radu u Evropi jasno je da nam preti potencijalna opasnost od neke buduće havarije nuklearnog reaktora.

Prethodne činjenice jasno govore da je naša neizbežna sudbina permanentnog življenja u radioaktivnom okruženju i da će direktnu opasnost još dug niz godina pretstavljati nuklearne centrale koje će se koristiti za proizvodnju električne energije.

Pošto smo sudbinski predodređeni da živimo u eri atomske energije sa radioaktivnošću, primorani smo da tu potencijalnu opasnost svakodnevno kontrolišemo i pravovremeno preduzimamo mere efikasne zaštite na svaki, pa i najmanji, znak opasnosti od kontaminacije veštačkim radioaktivnim izotopima, istovremeno imajući u vidu moguće štetno dejstvo povećanih koncentracija prirodno radioaktivnih elemenata.

TABELA XIX

DISTRIBUCIJA ČERNOBILJSKIH PADAVINA I DOZA U EVROPI					
REGION ILI ZEMLJA	POPULACIJA	POVRŠINA (km^2)	MAX.EKSPOZ (R/h)	PRVI NAILAZAK TALASA(VREME)*	DEPOZICIJA Cs-137(Bq)
ALBANIJA	$2,9x10^6$	$2,9x10^4$	$5,0x10^1$	204	$3,9x10^{14}$
AUSTRIJA	$7,5x10^6$	$8,4x10^4$	$7,6x10^1$	114	$1,1x10^{15}$
BELGIJA	$9,9x10^6$	$3.0x10^4$	2,1	228	$1,0x10^{13}$
BUGARSKA	$9,0x10^6$	$1,1x10^5$	$1,3x10^2$	132	$2,7x10^{15}$
ČEHOSLOV.	$1,5x10^7$	$1.3x10^5$	$2,5x10^1$	132	$5,9x10^{14}$
DANSKA	$5,2x10^6$	$4,3x10^4$	4,6	180	$4,7x10^{13}$
FINSKA	$4,8x10^6$	$3,4x10^5$	$5,0x10^1$	66	$1,9x10^{15}$
FRANCUSKA	$5,4x10^7$	$5,5x10^5$	8,2	132	$8,3x10^{14}$
I.NEMAČKA	$1.7x10^7$	$1,1x10^5$	$3,5x10^1$	102	$5,8x10^{14}$
Z.NEMAČKA	$6,2x10^7$	$2,5x10^5$	$3,1x10^1$	156	$1,6x10^{15}$
GRČKA	$9,9x10^6$	$1,3x10^5$	$1,4x10^1$	180	$4,4x10^{14}$
MADJARSKA	$1,1x10^7$	$9,3x10^4$	$4,0x10^1$	156	$7,9x10^{14}$
ISLAND	$2,4x10^5$	$1,0x10^5$	vrlo mala		vrlo mala
IRSKA	$3,5x10^6$	$7,0x10^4$	$1,5x10^1$	180	$2,5x10^{14}$
ITALIJA	$5,7x10^7$	$3,0x10^5$	$3,0x10^1$	156	$1,9x10^{15}$
LUKSEMBURG	$3,6x10^5$	$2,6x10^3$	8,0	132	$3,8x10^{12}$
MALTA	$3,6x10^5$	$3,2x10^2$	$3,0x10^1$	156	$2,0x10^{12}$
MONAKO	$2,7x10^4$	1,5	8,2	132	$2,3x10^9$
HOLANDIJA	$1,4x10^7$	$4,1x10^4$	6,2	204	$6,8x10^{13}$
NORVEŠKA	$4,1x10^6$	$3,9x10^5$	$2,2x10^1$	78	$1,1x10^{15}$
POLJSKA	$3,6x10^7$	$3,1x10^5$	$2,3x10^2$	78	$9,2x10^{15}$
PORTUGAL	$1,0x10^7$	$8,9x10^4$	vrlo mala		vrlo mala
RUMUNIJA	$2,3X10^7$	$2,4X10^5$	$2,0X10^2$	90	$6,7X10^{15}$
SAN MARINO	$2,4x10^4$	$6,1x10^1$	$3,0x10^1$	156	$3,9x10^{11}$
ŠPANIJA	$3,8x10^7$	$5,1x10^5$	vrlo mala		vrlo mala
ŠVEDSKA	$8,3x10^6$	$4,5x10^5$	$6,0x10^1$	78	$3,4x10^{15}$
ŠVAJCARSKA	$6,3x10^6$	$4,1x10^4$	$3,0x10^1$	114	$2,0x10^{14}$
VELIKA BRI.	$5,6x10^7$	$2,4x10^5$	7,6	180	$4,4x10^{14}$
JUGOSLAVIJA	$2,3x10^7$	$2,6x10^5$	$1,0x10^2$	180	$6,1x10^{15}$
SSSR(EVR.)	$2,0x10^8$	$5,3x10^6$			$3,7x10^{16}$
UKUPNO	$6,9x10^8$	$1,0x10^7$	**(Science,Dec.1988.)**		$7,7x10^{16}$

*vreme proteklo od trenutka havarije u Černobilju do trenutka nailaska radioaktivnog oblaka.

28.1. Nuklearna fisija

Fisioni proces je nuklearna reakcija poznata po svojim dramatičnim istorijskim posledicama i po svom ishodu. Fisija može spontano da se dogodi ili da bude izazvana udarom neutrona. Spontanom fisijom raspadaju se samo jezgra najtežih hemijskih elemenata, onih sa poluživotom od 10^{21} god. za Th-232, 10^{16} god. za U-238, 2 meseca za kalifornijum-256, 2,6 h za fermijum-254, do onih kod kojih je poluživot reda veličine sekunde i manje.

Pri nuklearnoj reakciji dolazi do cepanja teških atomskih jezgara na dva (ređe tri) srednje teška jezgra bilo pod dejstvom neutrona ili drugih brzih čestica, bilo spontano (transuranski elementi). Novonastala jezgra nazivaju se fisioni fragmenti. Obično su radioaktivni. Sem njih nastaju dva do tri neutrona i oslobađaju se znatne količine energije. U nuklearnim reaktorima ova energija se oslobađa kontrolisano, dok se pri eksploziji atomske bombe ista energija oslobađa trenutno i nekontrolisano. Fisioni fragmenti predstavljaju primarne proizvode.

Fisija se može izvršiti na više desetina različitih načina zbog čega nastaju razne vrste fisionih fragmenata. Primarni proizvodi fisije su radioaktivni izotopi sa vrlo kratkim vremenima poluraspada koji sukcesivnim dezintegracijama prelaze u druge radioaktivne izotope. Svi ovi radioaktivni izotopi kao i primarni fragmenti fisije nazivaju se fisioni produkti koji bi u nekim situacijama mogli značajno kontaminirati velike površine neke zemlje.

Za izazivanje fisije urana-238 potrebni su brzi neutroni, dok se termalnim neutronima može izazvati fisija U-238 i U-235 pri čemu je veoma efikasna reakcija fisije lakšeg uranovog izotopa (U-235).

Među najčešće korišćenim fisionim materijalima nalaze se U-235, Pa-231, Th-232, Np-237 i Pu-239 od kojih poseban praktičan značaj imaju U-235 i Pu-239 kao nuklearno gorivo.

Jezgro U-235 sadrži 92 protona i 143 neutrona. Pod dejstvom jednog termičkog neutrona ovo jezgro može pretrpeti fisiju uz obrazovanje produkata fisije F i F', izbacivanje dva ili tri neutrona i oslobađanje velike količine energije.

Reakcija se izražava na sledeći način:

$$^{235}_{92}U + {}^{0}_{1}n \rightarrow {}^{236}_{92}U \rightarrow F + F' + (2 \text{ do } 3)\ {}^{1}_{0}n + 200MeV..... \quad (55)$$

U prikazanoj reakciji upadni neutron stvara jedno složeno jezgro ^{236}U. To je jezgro koje trpi fisiju, a ne početno jezgro.

Fisija se može ostvariti na trideset do četrdeset različitih načina sa različitim stepenom verovatnoće. Produkti ovog razbijanja raspodeljuju se u dve grupe. Prva grupa obuhvata primarne produkte fisije nazvane "laki" kod kojih se maseni broj (A) približno kreće između 85 i 105. Druga grupa obuhvata primarne produkte fisije nazvane "teški" kod kojih se maseni broj (A) približno kreće između 130 i 150. Maseni brojevi dva primarna produkta fisije grupišu se tako oko dve srednje vrednosti (96) i (140). Tako se dobijaju, na primer, parovi: kripton-barijum, rubidijum-cezijum, cirkonijum- telur itd. Ovako se stvara 30-40 parova primarnih produkata fisije. Svaki par rađa desetak potomaka usled radioaktivnih transmutacija. Konstatovano je 300 do 400 produkata fisije, obično čvrstih na normalnoj temperaturi.

Primarni produkti fisije i oni koji iz njih proističu daju višak neutrona. Ovi se transformišu u protone uz emisiju elektrona. Ova transformacija objašnjava radioaktivnost produkta fisije. Svi produkti fisije su emiteri (α) zračenja; približno polovina od njih su emiteri gama zračenja, a neki su emiteri neutrona. Periodi poluraspada su jako promenljivi i kreću se od dela sekunde do milion godina. Produkti kratkog perioda (T), čiji je period reda minuta i sekunde, daleko su najbrojniji. Usled toga nakon relativno kratkog vremena, ovi radioaktivni elementi biće razloženi. Izvesni produkti fisije imaju duge periode poluraspada.

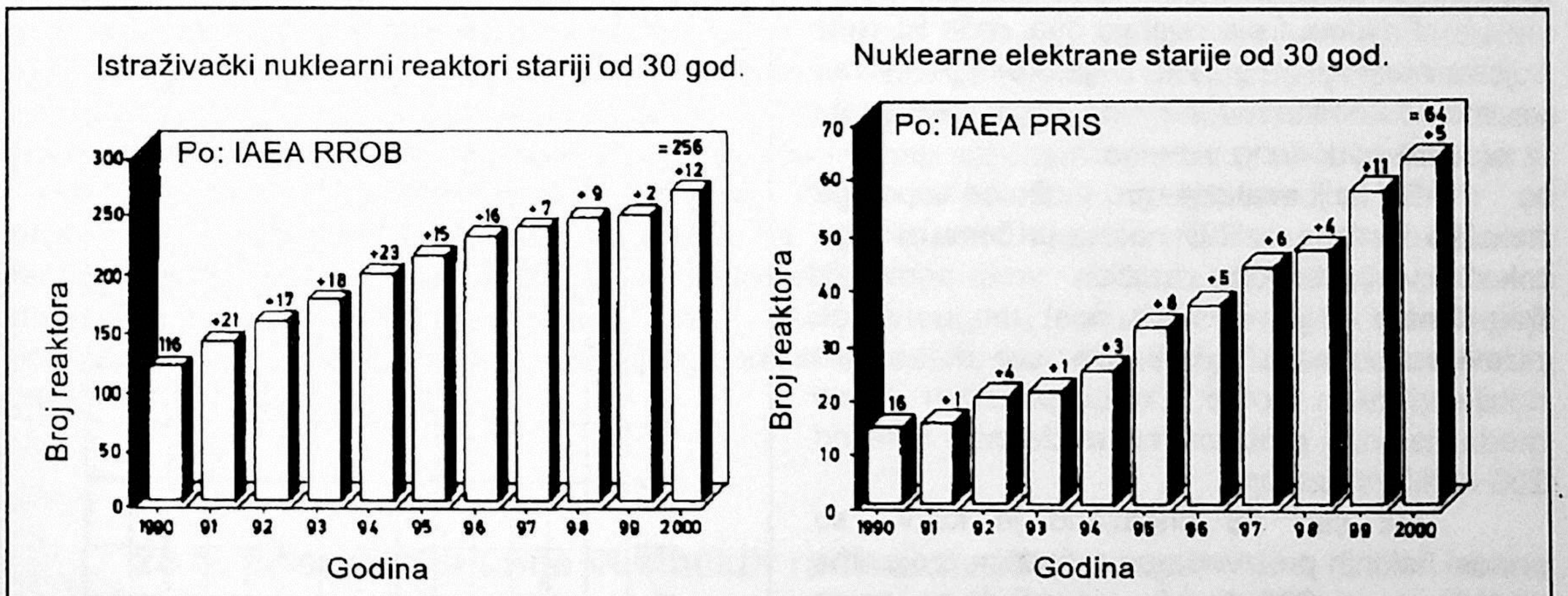
Veliki broj mogućih fisija i još veći broj produkata fisije koji se stvaraju, nekontrolisano, pri atomskim eksplozijama i kontrolisano u nuklearnim reaktorima predstavlja ogromnu potencijalnu opasnost za životnu sredinu. To zahteva sistematsko praćenje stanja radioaktivnosti potencijalno ugrožene teritorije.

28.2. Nuklearni reaktori

Nuklearni reaktori su mašine u kojima se održava kontrolisana lančana nuklearna reakcija. Prvi nuklearni reaktor konstruisao je i ostvario Enriko Fermi sa saradnicima 1943. godine, svega tri godine posle pronalaska nuklearne fisije. Svaki reaktor za rad zahteva određenu količinu nuklearnog goriva koja omogućava da efektivni multiplikativni faktor bude blizu jedinice i da se lančana reakcija održava konstantno.

Kod reaktora se reguliše i broj neutrona na taj način što se postavljaju uređaji koji pomažu uvođenje materijala koji apsorbuju neutrone. Osim neutrona emituju se gama zraci koji mogu biti štetni i opasni za okolinu.

Nuklearni reaktori su mašine za dobijanje i korišćenje nuklearne energije i generatori toplotne energije u kojima se koristi gorivo visoke kalorične moći (1kg urana-235 ili plutonijuma-239 ekvivalentan je 3000-4000 tona kvalitetnog uglja) koje se ne može koristiti kao druge vrste goriva. Da bi se mogao iskoristiti 1kg urana-235 u nuklearnom reaktoru treba da ga bude mnogo puta više od te količine zbog tačno određenih zakona fizike. Naime, za sve vreme svog rada nuklearni reaktor mora imati jednu određenu količinu urana koja je potrebna za održavanje lančane reakcije fisije. Pored toga, nuklearno gorivo se u toku rada reaktora ne utroši do kraja jer se pri reakciji fisije u njemu stvaraju fisioni proizvodi koji u većini slučajeva lako apsorbuju neutrone pa u slučajevima kada u nuklearnom gorivu bude akumulirano toliko fisionih proizvoda da oni počinju da usporavaju nuklearnu reakciju fisije smatra se da je nuklearno gorivo istrošeno i u tom slučaju se ono zamenjuje. Takvo istrošeno gorivo se određenim postupcima prečišćava od fisionih produkata posle čega se može ponovo koristiti.



(a) **(b)**

Slika 77

U ovom trenutku u svetu je u radu ukupno 433, a u izgradnji 99 nuklearnih centrala. Najveći broj nuklearki je u lociran u Evropi, oko 220, u radu, i 66 u izgradnji.

Poznato je da bezbedan radni vek nuklearne elektrane projektovan na 30 godina i da se, bez obzira na stanje elektrane, po isteku tog perioda pristupa demontiranju ili konzerviranju nuklearnih postrojenja. Ako se broju komercijalnih nuklearnih reaktora iz elektrana, doda broj od oko 1000 istraživačkih nuklearnih reaktora koji su u pogonu, očito je da problemi koje donosi demontiranje nuklearnih postrojenja tek stupaju pred čovečanstvo. U 1990. godini broj istraživačkih reaktora starosti 30 godina dostigao je cifru od 116 (slika 77a). U isto vreme 16 nuklearnih eletrana dostigla je starost od 30 godina (slika 77b). Prema podacima IAAE do danas je demontirano 64 nuklearna reaktora. Sad je 55 reaktora je u fazi rastavljanja, dok se planira i priprema narednih 26 za demontiranje i odlaganje najopasnijih delova. U narednih 10 godina, odnosno do 2000. godine, radni vek od 30 godina navršiće novih 140 istraživačkih reaktora i 49 nuklearnih elektrana.

Godine koje dolaze donose nuklearnoj industriji obavezu demontiranja elektrana i reaktora. Skoro sva radioaktivnost (99%) nalazi se u nuklearnom reaktoru, gorivu i produktima razlaganja, koji moraju biti odloženi pre demontiranja kompletnog nuklearnog objekta.

Skladištenje se mora realizovati u jednom dužem vremenskom intervalu koji se kreće i do sto godina zbog potrebe ostavljanja dovoljno dugog vremenskog perioda za raspad fisionih produkata do dozvoljene granice što smanjuje troškove dekontaminacije, a ozračenje ljudi smanjuje na najmenju meru.

U tom pristupu leži jedna od najvećih opasnosti za ljudsku vrstu. U mnogim zemljama u tako dugom vremenskom periogu doći će do velikih promena zbog čega postoji realna opasnost od gubitka dokumentacije, evidencije i drugih relevantnih podataka.

Neke zemlje će izvesti svoj otpad u nerazvijene zemlje kao protivuslugu za pružanje skromne pomoći ili davanje, naravno nepovoljnih kredita. Na žalost, i ostatci nekadšnje Jugoslavije i SSSR-a biće u toj situaciji.

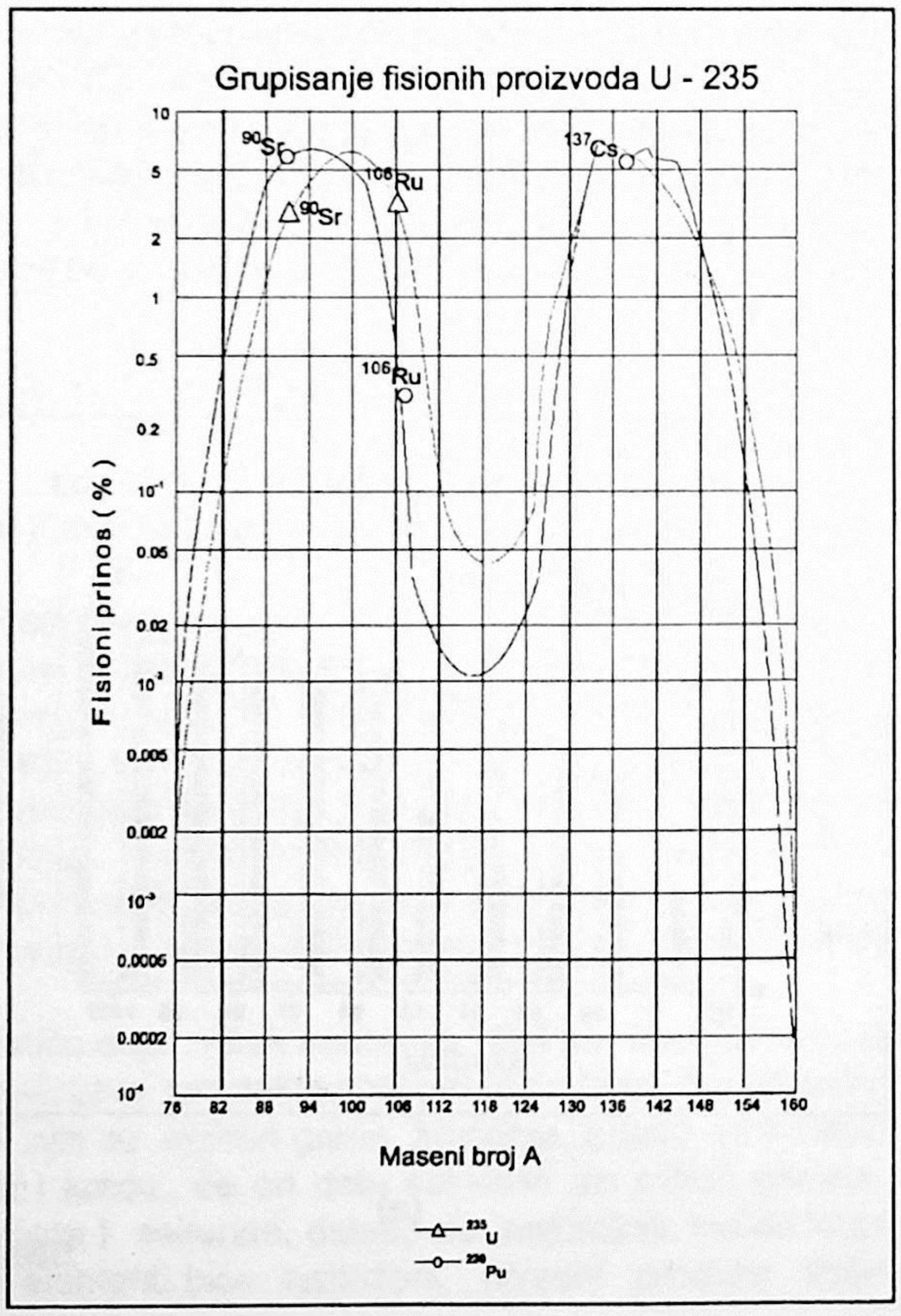
28.3. Fisioni proizvodi

Fisioni produkti nastaju kao proizvod nuklearnih reakcija fisije teških atomskih jezgara. Najpoznatije su nuklearne reakcije fisije U-235, U-238 I Pu-239.

Prilikom fisije nastaju dva, ređe tri, dela koji se nazivaju fragmenti fisije, koji su u stvari veoma nestabilna radioaktivna jezgra elemenata iz sredine periodnog sistema.

Pri fisiji svako jezgro može se cepati na nekoliko desetina različitih načina, pri čemu nastaje, takođe, više desetina različitih vrsta primarnih fragmenata fisije, iz kojih opet mogu nastati nizovi sa po nekoliko članova, sve dok se ne dobije stabilan izotop. Odatle proizilazi da se među fisionim proizvodima može naći više od 200 različizih izotopa.

Na slici 78 prikazano je kakvi su prinosi fisionih proizvoda po masenim brojevima pri fisiji urana-235. Iz krive se vidi da se jezgro U-235 deli na dva jednaka dela i da najčešće nastaju fragmenti čije su mase oko broja 95 i 139. Radioaktivnost fisionih proizvoda u nekom vremenu posle fisije sastoji se od radioaktivnosti svih fisionih proizvoda.



Slika 78

Pošto vremena poluraspada pojedinih radioizotopa, u smeši kakvu predstavljaju fisioni proizvodi variraju od delova sekunde do više desetina, stotina pa čak i hiljada godina, pa se raspadi smeše fisionih proizvoda ne mogu predstaviti poznatom eksponencijalnom jednačinom za radioaktivni raspad. Izučavanje je komplikovano stoga što se raspadanje pojedinih izotopa vrši uz istovremeno nastajanje novih. Zbog činjenice da postoji veoma mnogo mogućnosti za nastajanje primarnih fragmenata fisije, to je i teško izračunavanje radioaktivnosti nastalih fisionih produkata. Ako se neki od fisionih produkata izdvoji iz smeše za njega važi osnovni zakon radioaktivnog raspada. Fisioni proizvodi se za vreme rada nuklearnog reaktora nagomilavaju u nuklearnom gorivu, zbog čega ometaju pravilan tok lančane reakcije fisije, pa time i rad reaktora, zbog toga što većina fisionih produkata lako apsorbuje neutrone. Zbog te činjenice neophodno je posle određenog perioda vremena izvršiti zamenu nuklearnog goriva, tj. šipke se izvlače iz reaktora i šalju na hemijsko prečišćavanje, pri čemu se ekstrahuju fisioni proizvodi, a prečišćeno gorivo ponovo vraća u reaktor na korišćenje.

Do sada problem odlaganja nekorisnih, a veoma radioaktivnih fisionih produkata nije nigde u svetu trajno rešen. Postoje mnogi dokazi o pokušajima oslobađanja od radioaktivnog fisionog materijala mnogih ekonomski jakih zemalja izvozom u nerazvijene. Na taj način problem zaštite prenosi se na mnogo maje sposobne i tehnološki nerazvijene zemlje čime se ugrožava planeta.

Drugi način oslobađanja fisionih produkata koji je mnogo opasniji, a lakše se realizuje, svodi se na mešanje radioaktivnog materijala fisionog porekla sa rudama ili nekim poluproizvodom koji se izvozi iz visoko razvijenih zemalja u zemlje takozvanog "trećeg sveta", koje su i danas u nekoj vrsti kolonijalnog odnosa, ekonomske prirode, pošto su bile primorane da prihvate prljave tehnologije kojima se prerađuje tako uvezena ruda. Kontrola uvezenog materijal obično izostaje ili se svesno izbegava te se prilikom spaljivanja ili topljenja različitih sirovina vrši kontaminacija proizvoda ili velikih prostora neke zemlje preko pepela, šljake, otpadnog materijala i slično.

28.4. Atomska-fisiona termonuklearna bomba

Kobaltna bomba ili termonuklearna bomba je takva bomba kojoj je dodat omotač od prirodnog kobalta-60. Kobaltni omotač ima ulogu da koncentriše eksploziju tako da se fisioni materijal duže zadrži pod dejstvom neutrona pri eksploziji nuklearnog eksploziva. Kao i u nuklearnom reaktoru, kobaltne šipke apsorbuju neutrone, usled čega se reakcija fisije može da upliviše. Usled apsorpcije neutrona, prirodni Co-59 prelazi u radioaktivni Co-60 što znači da prilikom eksplozije kobaltne bombe čitavo područje na koje je bačena takva bomba biva kontaminirano radioaktivnošću kroz više godina jer je vreme poluraspada Co-60 približno 5,3 godine. Stoga se kobaltna bomba smatra jednim od najstrašnijih nuklearnih oružja jer ne samo da ima razorno dejstvo kao atomska, odnosno termonuklearna bomba, već i svojom radioaktivnošću, koja se u obliku radioaktivnih padavina rasprostire po velikoj površini. Na takav način postavlja se pred istraživače zadatak određivanja površinskih izvora gama zračenja veštačkog porekla kod kojih preovlađuje kobalt-60, sa energetskim linijama na 1170 i 1336 KeV.

28.5. Energetske linije veštačkih radioaktivnih izotopa

Najznačajniji veštački radioaktivni izvori gama zračenja koji su dospeli u prirodu na dva najčešća načina, ili probama atomskog oružja ili havarijama nuklearnih reaktora, jesu cezijum-137 i rutenijum-106. Njihova značajna karakteristika je relativno dug period poluraspada (T) koji je za cezijum 30,9 godina a za rutenijum 29.7 godina.

Srećna je okolnost što i pored velikog broja fisionih produkata koji dospevaju na površinu Zemlje u trenutku testiranja atomskog oružja ili havarija nuklearnih postrojenja samo mali broj ostaje radioaktivan i posle par meseci. Na TABELI XX prikazani su svi radioaktivni izotopi veštačkog porekla koji su registrovani za vreme havarije reaktora u Černobilju u švedskom institutu za radijacionu zaštitu. Posle četri perioda poluraspada raspadne se preko 90% jezgara svakog radioaktivnog elementa. Jasno je da za svaki izotop sa periodom poluraspada reda veličine časova ili dana radioaktivnost elemenata prestaje posle najviše 7 meseci. Posle tog perioda ostaće radioaktivni samo oni izotopi čiji je period poluraspada preko godinu dana, a to su Cs-137, Cs-134 i Sr-90.

Lantan-140 je jedini gama emiter, poreklom iz reaktora, čija je energija gama zračenja veća od 1000 KeV (1596 KeV). Pošto je njegov period poluraspada(T) 40h on već posle 10 dana nema uticaja na podatke AGS ispitivanja.

TABELA XX

IZOTOP	PERIOD POLURASPADA ($T_{1/2}$)	ENERGIJA GAMA ZRAČENJA (KeV)
Zr-95	64d	724, 757
Nb-95	64d	766
Mo-99	66h	140
Ru-103	39d	497
J-331	8d	364; 637
Te-132	78h	228; 668
Cs-134	2g	605; 796
Cs-137	30g	662
Ba-140	13d	537;163;305
La-140	40h	1596;487;329
Np-239	56h	106;278;228

Radioaktivni izotopi nastali u procesu fisije u nuklearnim reaktorima mogu kontaminurati veliku površinu terena. Zračenje koje se u tom slučaju registruje ima karakter **POVRŠINSKOG** izvora.

Veštački radioaktivni izvori koji su stvoreni na način sličan havariji satelita "Kosmos-954" imaju karakter pojedinačnog radioaktivnog izvora odnosno **"TAČKASTOG"** izvora gama zračenja. Takvim izvorima mogu se danas smatrati radioaktivni gromobrani, kojih kod nas ima neopravdano mnogo na privrednim i stambenim objektima.

Do 1975. godine u radioaktivne gromobrane ugrađivan je izotp kobalta Co-60, sa periodom polu života od 5 godina, a posle tog perioda ugrađivana je smeša europijuma 152 i europijuma 154.

Na TABELI XX prikazani su glavni veštački radioaktivni izotopi koji se danas, u mirnodopsko vreme, mogu naći u našem životnom prostoru.

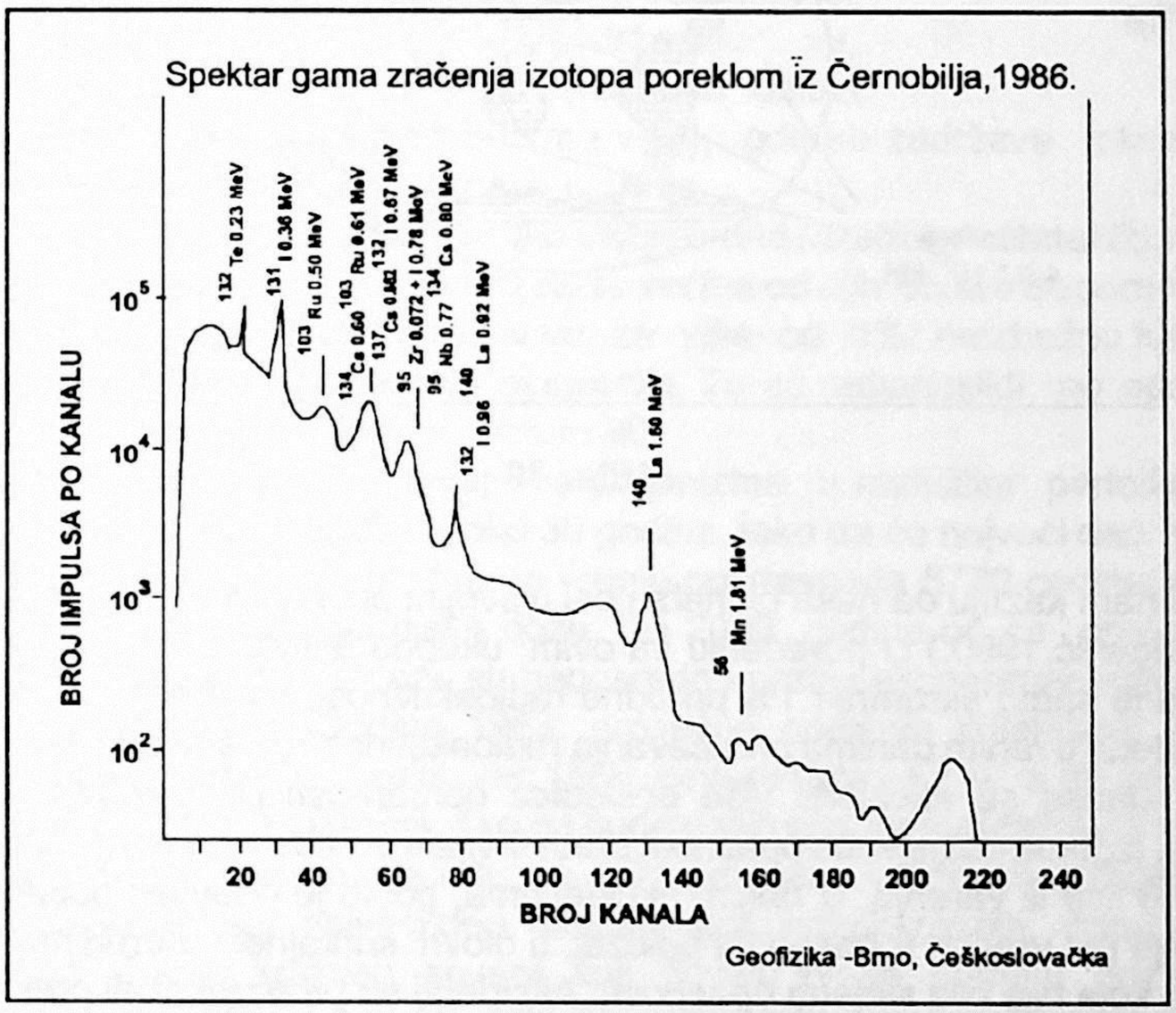
Iz tabele (XX) se jasno uočava da su sve energije veštačkih izvora gama zračenja fisionog porekla iz havarisanog reaktora u Černobilju, locirane u delu spektra prirodnog gama zračenja sa energijama od 0 - 1000 KeV. Izuzetak čini La-140 sa jednim svojim energetskim pikom na 1596 KeV koji se registruje između "prozora" kalijuma i urana. Kratak period poluraspada od 40 h utiče da je aktivnost La-140 već posle 12 dana praktično svedena na nulu.

TABELA XXI

IZOTOP	PERIOD POLURASPADA ((T)	ENERGIJA GAMAZRAČENJA (KeV)	KANAL U 256 K SPEKTRU PR. GAMA ZR.
Cs-137	30.1 g	662	56
Cs-134	2.0 g	605;796	67
Co-60	5,27g	1170;1336	99 ; 113
Eu-152	13,0 g	344;779;987; 1086;1299;1408	29;66;83 92;110;119

Teorijske naučne činjenice i praktična iskustva pokazuju da su posle perioda od pola godine posle kontaminacije tla radioaktivnim nuklidima, koji su poticali iz Černobilja, jedini relevantni gama emiteri Cs-137 i Cs-134, a da je danas, pet godina posle događaja u Černobilju značajan kao gama emiter smo Cs-137.

Na slici 79 prikazan je energetski pik CS-137 sa energetskom linijom na 662 KeV.



Slika 79

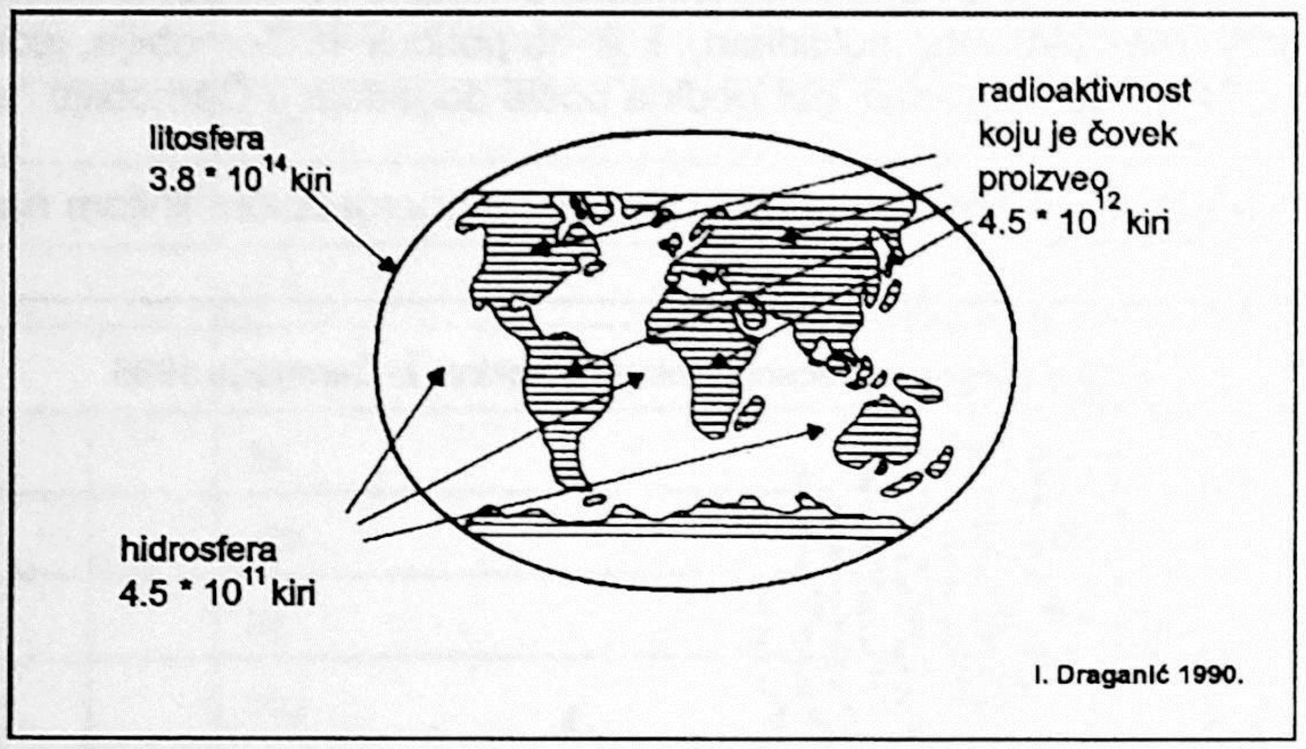
Od industrijskih veštačkih radioaktivnih izvora danas se mogu, u normalnoj situaciji, registrovati, iz vazduha, samo radioaktivni gromobrani sa Co-60 i Eu-152/154.

Prisustvo veštačkih izvora gama zračenja i njihova aktivnost predstavljaju dodatno zračenje koje se superponuje sa poljem prirodnog gama zračenja koje je karakteristika neke geološke sredine. Poznavanem veličine intenziteta prirodnog gama zračenja i njegovim odbijanjem od merenog podatka moguće je odrediti vrstu i veličinu kontaminacije tla veštačkim radioaktivnim izotopima što će biti predmet razrade u daljem tekstu.

29.0. KONTAMINACIJA ŽIVOTNE SREDINE VEŠTAČKIM RADIOAKTIVNIM IZOTOPIMA

Od dana kada su supružnici Kiri otkrili veštačku radioaktivnost proizvedeno je preko 2000 veštačkih radioaktivnih izotopa. Različiti radionuklidi nastaju u nuklearnim laboratorijama. Postoje dve značajne kategorije veštačkih radionuklida. Jedna nastaje fisijom urana u nuklearnim reaktorima, a druga se proizvodi za primenu u različitim oblastima čovekove aktivnosti kao što su: medicina, poljoprivreda, industrija i slično.

Procena ukupne aktivnosti hidrosfere daje veličinu od $4,5x10^{11}$ Ci. Pošto je prosečna aktivnost 0,01 Bq/gr a ukupna masa hidrosfere $1,7x10^{24}$ grama (slika 80). Na isti način se dobija da je ukupna masa litosfere $3,8x10^{14}$ Ci, uzimajući da je ukupna masa litosfere $2,4x10^{25}$ grama i prosečna aktivnost 0,5 Bq po gramu.

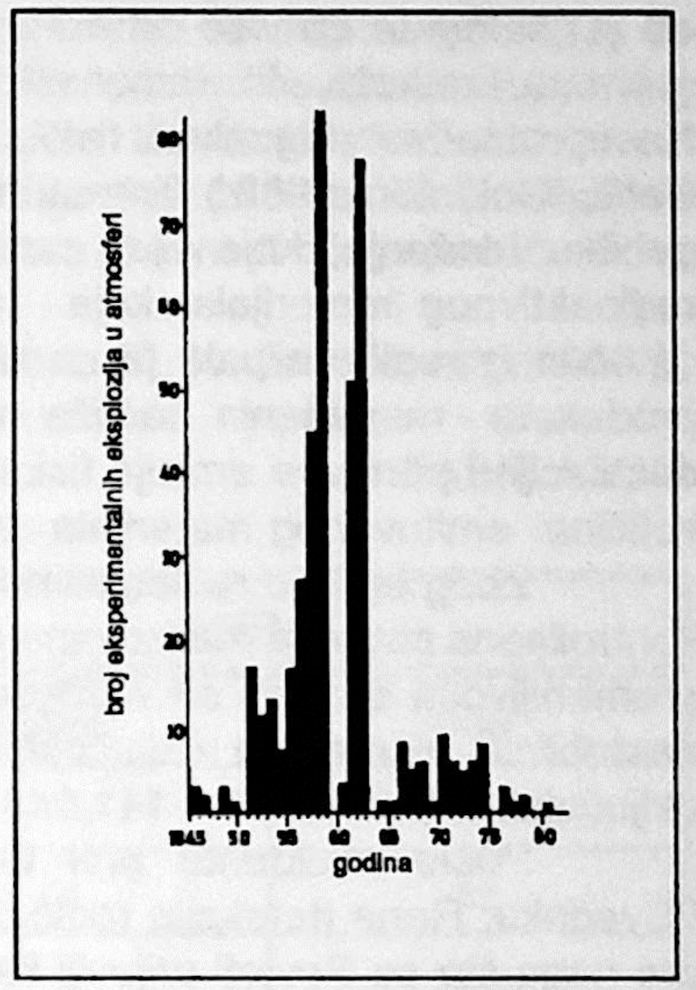


Slika 80

Ovi podaci nam kazuju da naša planeta nosi u svojim površinskim slojevima (do dubine 40 km) oko $4x10^{14}$ Ci. (Draganić,1990.) U poređenju sa ovim, ukupna aktivnost radionuklida koje je proizveo čovek u reaktorima je samo skromnih 1% prirodne radioaktivnosti na Zemlji.

Brojni akcidenti u ranim danima proučavanja radioaktivnosti bili su najčešće posledica oskudnog znanja i iskustva. Danas su akcidenti više posledica nemarnosti profesionalaca nego neznanja ili otkazivanja tehnike. Izgleda da najveću opasnost predstavljaju prenosni izvori zračenja, oni koji se obično koriste za ispitivanje liva ili varenja. U nekim akcidentima, pošto je obavljen posao, radioaktivni izvor, zbog nemarnosti nije bio vraćen u bezbedni položaj, u olovni kontejner. U drugima je izvor iz zaštitnog suda izvukla osoba koja nije bila svesna opasnosti. Akcidenti su prouzrokovali prekomerna ozračivanja i smrt više osoba koje su izvor našle, ili članovi njihovih porodica. Pouzdana evidencija za period 1945 do 1987 govori o 53 akcidenta u industriji, medicinskim centrima i naučnim laboratorijama. Ishod je bio 156 prekomernih ozračivanja i 24 smrtna slučaja. Opominjući je akcident koji se dogodio u Brazilu (1987). Počeo je sa napuštenim uređajem za radijacionu terapiju, koji je nekontrolisano dospeo na otpad gde je otvoren i radioaktivnost rasuta. Radilo se o prahu radioaktivnog cezijuma-137 čija je aktivnost bila 1400 Ci. Kontaminirano je 244 osobe, od kojih je više od 20 dobilo prekomernu dozu pa je četvoro ubrzo i umrlo. Kontaminiran je bio i deo grada u kojem se akcident odigrao. Ipak, najveće kontaminacije tla događale su se u vezi sa vojnim programima i testiranjem atomskih oružja na površini i u atmosferi i havarijama reaktora nuklearnih električnih centrala, od kojih je černobiljska bila najveća u istoriji korišćenja nuklearne energije od njenog otkrića pa do danas. Nema čoveka koji za poslednjih 40 godina nije bio izložen radioaktivnim padavinama poreklom od nuklearnog oružja.

Ipak, gotovo ništa od toga ne potiče od bombi koje su 1945. bačene na Hirošimu i Nagasaki, gotovo sve te padavine su posledica nuklearnih eksplozija u atmosferi izvršenih u cilju testiranja oružja. Učestalost ovih proba bila je dva puta na vrhuncu: prvi put između 1954. i 1958. godine, kada su SAD, SSSR i Velika Britanija testirale svoje nuklearno naoružanje Slika 81 (UNEP; 1985); drugi, viši, maksimum dostignut je 1961. i 1962. godine, kada su najviše eksplozija vršili SAD i SSSR (radijacija, doze,..)



Slika 81

Godine 1963. SAD, Velika Britanija i SSSR potpisali su ugovor o delimičnoj zabrani nuklearnih eksplozija, kojim su se bili obavezali da se prekine sa probama u atmosferi, okeanima i vasioni. Od tada su Francuska i Kina obavile niz proba daleko manjih razmera u atmosferi, čija je učestalost bivala sve manja tako da je poslednja izvršena 1980. Još i danas se vrše podzemne probne eksplozije, ali one, opšte uzeto, ne dovode do radioaktivnih padavina kao što je to bilo u vreme intenzivnih testiranja u vazduhu. Jedan deo radioaktivnih padavina koji potiče od proba u atmosferi ne pada daleko od mesta eksplozije. Drugi deo se zadržava u troposferi, najnižem sloju atmosfere, a vetrovi ga raznose širom sveta, uglavnom u pojasu iste geografske širine; nošen vetrom on postepeno pada na zemlju, zadržavajući se, u proseku, oko mesec dana u vazduhu. Ali, najveći deo odlazi u stratosferu, viši sloj atmosfere (od 10 do 50 km i više), gde se zadržava tokom mnogih meseci odakle se postepeno spušta u sve delove naše planete.

Ovi različiti tipovi padavina sadrže nekoliko stotina vrsta različitih radionuklida od kojih samo neki utiču na stepen izloženosti ljudi zračenju, budući da se većina od njih stvara u veoma malim količinama ili se brzo raspadne. Samo četri vrste povećavaju za više od 1% neizbežnu kolektivnu efektivnu ekvivalentnu dozu kao posledicu nuklearnih eksplozija. To su radionuklidi, po opadajućem značaju: ugljenik-14, cezijum-137, cirkonijum-95 i stroncijum-90.

Doze drugih radionuklida dospevaju u organizme u različitim periodima. Cezijum-137 i stroncijum-90 imaju, vreme poluraspada od oko 30 godina, tako da će najveći deo svojih doza predati do kraja ovog veka. Samo ugljenik-14, čije je vreme poluraspada 5730 godina, ostaće aktivan i u dalekoj budućnosti, mada će predavati niske doze. Do 2000. godine on će predati samo 7% svoje ukupne doze radioaktivnosti. Godišnje doze su neposredno pratile eksperimentalne eksplozije koje su vrhunile 1958-1960. i 1963-1964. Godine 1963. prosečne godišnje kolektivne doze su oko 7% ekvivalentne izloženosti prirodnom zračenju; već 1966. one su pale na 2% , a do početka osamdesetih godina na 1% izloženosti prirodnoj radijaciji. Ako ne bude daljih eksperimentalnih eksplozija u atmosferi, buduće godišnje doze bivaće sve manje i manje. Ove prosečne vrednosti skrivaju znatne varijacije. Severna hemisfera, gde je izvršen najveći deo eksperimentalnih eksplozija, primila je i najveći deo radioaktivnih padavina. Čobani krajnjeg severa, koji čuvaju irvase, primaju doze cezijuma-137 sto do hiljadu puta iznad normalnih, kao što primaju više i prirodnog zračenja. Ukupna angažovana kolektivna efektivna doza usled zračenja od dosadašnjih nuklearnih eksplozija u atmosferi dostiže 30 000 000 čovek-siverta. Samo 12% ove vrednosti predato je do 1980. godine, a ostatak će čovek primiti tokom sledećih miliona godina.

Radioaktivni materijal je, takođe, deponovan na severnoj hemisferi kao rezultat najveće mirnodopske havarije koja se dogodila u Černobilju. Glavni akcident se dogodio 26. aprila na reaktoru br.4 nuklearne električne centrale "V.I.Lenjin", pri čemu je izbačen radioaktivni materijal od oko $4x10^{18}$Bq fisionih produkata. Kao rezultat te havarije radionuklidi su bili deponovani preko cele severne hemisfere.

U vreme akcidenta reaktor 4 je bio napunjen sa 1659 gorivnih elemenata, svaki sa 114,7 kg uranijuma, sa jednim srednjim periodom vremenom eksploatacije 10,3 MW-dan/kg. Iz tih i drugih podataka izračunato je da je reaktorska posuda sadržala ostatak od $5,6x10^{27}$ fisija i da je prosečna starost gorivnih ansambala bila 619 dana.

Za vreme fisionih procesa više od 200 različitih radionuklida je proizvedeno sa poluživototom manjim od (1) sekunde do više od milijarde godina. Pošto je srednja starost goriva bila približno (2) godine glavnina kratkoživećih radionuklida stvorenih u jezgru, uključujući J-331 i J-132, su se već raspali. Nasuprot tome, dugoživeći fisioni produkti kao što su Sr-90 i Ci-137 zadržali su se u jezgru (Anspaugh, Catlin, Goldman, 1988.). Trenutna posledica havarije bila je nekontrolisano oslobađanje energije, usled gubitka hlađenja, koje je razorilo reaktor i gornji zaštitni sloj i veliko inicijalno emitovanje radioaktivnog materijala, koje je uključilo fragmente goriva. Posle te velike eksplozije emisija iz oštećenog reaktora pala je na nizak nivo. Posle nekoliko dana temperatura koja je poticala od produkata raspadanja dostiže nivo na kojem preostali deo jezgra počinje da se topi i dolazi do destilacije i ponovne emisije fisionih produkata iz reaktora. Devet dana posle inicijalne faze dnevna količina emitovanog materijala bila je skoro isto visoka kao u vreme prve faze.

Zbog emisije radioaktivnog materijala iz reaktora koja je rezultirala iz dva značajna ali različito kontrolisana procesa realizovana radioaktivna frakcija sadržaja jezgra, dokazano je, varirala saglasno promenljivosti svakog od hemijskih elemenata. Tačnije, svi plemeniti gasovi, približno polovina nestabilnih elemenata uključujući J-131 i Cs-134,137 i samo mali procenat stabilnog materijala uključujući Sr-89,90; Ce-141,144 i Pu-238,239,240 bili su emitovani.

Posle akcidenta prvi talas je dispergovan u pravcu severozapada i dostigao je Finsku i Švedsku. Rana detekcija radioaktivnosti upozorila je evropske nacije o havariji nuklearnog reaktora pre nego što su Sovjeti prijavili katastrofu.

Zbog toga što se havarija događala u toku mnogo dana pod promenljivim meteorološkim uslovima određivanje trajektorije radioaktivnog talasa bilo je veoma komplikovano. Skandinavija, Istočna Evropa, i, u novije vreme, južna Evropa je mnogo teže kontaminirana.

Nekoliko različitih modela proučavanja atmosferskih transporta, kao što su MESOS, DRID, PATRIC, bilo je korišćeno za predviđanje evolucije i karakteristika radioaktivnog talasa.

Više od 20 radionuklida bilo je lako identifikovano u toku inicijalnog perioda ,a koncentracija se povećavala u toku sledećih mesec i više dana. Prvi pik primarne realizacije materijala pojavio se 28 aprila, a drugi koji je bio posledica topljenja jezgra dogodio se 10 dana kasnije. Mnogo nestabilniji fisioni produkti kao što su J-131, J-133, Cs-134 i Cs-137 bili su dominantni, kao što je bilo očekivano, ali nuklidi, manje nestabilni, kao što su Zr-95, Ce-141, Ce-144 i Np-239 bili su takođe prisutni pošto su tarnsportovani fragmentima goriva. Pojedinačni fragmenti goriva veličina od nekoliko mikrometara nosili su totalnu aktivnost (1kBq), i pojavljuju se kao vrući "sastojci". Drugi tip "vrućih" sastojaka koji se sastoji najviše od Ru-103 i Ru-106 javio se sa totalnom aktivnošću od 10 kBq.

Tipični fisioni produkti nuklearnih reakcija koji su registrovani u uzorcima vazduha u Švedskoj prikazani su na TABELI XXII.

Prvi znaci kontaminacije koja je dospela do granica Republike Srbije konstatovani su merenjem filtera sa uzorcima prizemnog sloja vazduha na stacionarnoj mernoj stanici "Palić". Podaci merenja pokazali su da je ukupna beta aktivnost 28. aprila 1986. godine bila (9) puta veća od normalne vrednosti. Merenja su pokazala da je 29.04.1986. aktivnost bila 11.5 puta veća u odnosu na dane pre havarije. Na istom mernom mestu ukupna beta aktivnost pokazala je značajna povećanja, kako specifične tako i ukupne istaložene beta aktivnosti padavina, naročito za noć između 1. i 2. maja 1986. godine.

Ekspozicione doze gama zračenja, na visini od (1) metra od tla, pre kontaminacije, koje su najvećim delom zavisile od geološkog sastava tla, a manjim delom od gama emitera dospelih na tlo nakon nuklearnih proba, imale su vrednosti, merene 1986. na 800 lokacija u Srbiji, od 3-35 mikroR/h (što je ekvivalentno 214,5 - 2500 x 10^{-15} C/kgs) odnosno prosečna vrednost za Srbiju bila je 12,8 mikroR/h (915 x 10^{-15} C/kgs), (Hajduković, Vukotić, 1987.)

Ukupna beta aktivnost vazduha na filteru, izmerena u Beogradu 27.04.1986. god. bila je (2,6mBq/m^3) sa tendencijom porasta. Značajno visoke vrednosti bile su narednih dana, a najveća 03.05.1986.god. (51335 mBq/m^3). Nakon toga sledi opadanje aktivnosti koja je najmanja u maju na dan 23.05.1986.god i iznosila je 43,4 mBq/m^3.

Najveći broj merenja obavljenih širom teritorije Republike Srbije nedvosmisleno je pokazao da je najveća kontaminacija tla bila tamo gde je došlo do obaranja tečnog taloga koji je sa sobom povukao čestice radioaktivne površine. Na samoj površini terena povišene aktivnosti, za oko 30%, pokazale su površine koje su bile pokrivene travom ili nekim biljnim pokrivačem.

Specifična beta aktivnost padavina na dan 01.05.1986. godine bila je 86,7 Bq/l, a atmosferskog taloga 86,7 Bq/m^2. Na dan 02.05.1986.god. specifična beta aktivnost bila je povećana na 5074.92 Bq/l, a u atmosferskom talogu 45674,39 Bq/m^2.

Gamaspektrometrijske analize uzoraka tla izvršene u Geoinstitutu (R. Nedimović, maj 1986.g) potvrdile su merenja objavljena u Švedskoj u isto vreme.

TABELA XXII

NUKLID	POLUŽIVOT (DANA)	MAKSIMALNA KONCENTRAC (Bq/m^3)	VREME	
			MESEC	DAN
Zr-95	64	0,6	04	28
Nb-95	35	0,5	04	28
Mo-99	2,8	1,4	04	28-29
Ru-103	39	6,4	05	08
Ru-106	368	1,8	05	08
Rh-105	1.5	0.2	04	29
Sb-127	3.9	0.7	04	28-29
Te129m	34	1.6	04	28-29
Te-131m	1.3	0.4	04	28-29
Te-132	3.3	8.6	04	28-29
J-131	8.0	15.0	04	28
J-133	0.9	3.3	04	28
Cs-134	750	2.4	04	28-29
Cs-136	13	0.7	04	28-29
Cs-137	11000	4.5	04	28-29
Ba-140	3	2.1	04	28-29
La-140	1.7	1.4	04	28-29
Ce-141	33	0.5	04	28
Ce-143	1.4	0.5	04	28
Ce-144	284	0.3	04	28-29
Np-239	2.4	2.7	04	28

(Lennart i Devell,Stokholm,1991).

30.0. OTKLANJANJE UTICAJA PRIRODNE RADIOAKTIVNOSTI

Eksperimentalna ispitivanja primene detektora gama zračenja NaJ(Tl) velike zapremine (58,8 litara) pokazala su da spektar prirodnog gama zračenja menja svoj oblik sa promenom visine sa koje je registrovan.

Apsorpcija gama zračenja koje potiče sa površine terena u materijalu kao što je: sneg, voda, vazduh, vegetacija ili neki drugi pokrivač, rezultira promenom oblika spektra.

U cilju dobijanja "čistog" spektra prirodnog gama zračenja varijacije oblika spektara K, U i Th moraju biti određe ne kao funkcija količine apsorbujućeg materijala (vazduha) koji se nalazi između izvora gama zračenja i detektora. U praksi to može biti postignuto letenjem na različitim visinama preko tri test površine koje se karakterišu različitim koncentracijama K,U i Th.

Određivanje zavisnosti oblika spektra, kao funkcije promene visine detektora gama zračenja i definisanje matematičkog izraza te zavisnosti, izvršeno je na bazi rezultata eksperimenata urađenih na betonskim kalibracionim etalonima u SAD i Kanadi. Eksperimenti su oganizovani korišćenjem materijala koji je vršio funkciju vazdušnog sloja koji se nalazi između letilice i detektora gama zračenja u toku AGS ispitivanja. U tu svrhu upotrebljene su šper ploče debljine jednog inča (2,54cm) koje su simulirale gustinu vazduha od 0 do 112 m.

Potreba za tačnim definisanjem prinosa podataka, u nekom kanalu 256 kanalnog spektra, koji potiču od radioaktivnih izvora gama zračenja prirodnog ili veštačkog porekla, javila se tek kada je počelo intenzivno primenjivanje multikanalnog ispitivanja spektra gama zračenja. **Posebno se otvorio problem odvajanja komponenti prirodnog gama zračenja, koje potiče od radioaktivnih izotopa kalijuma, urana i torijuma, koje se registruju u "kanalima", odnosno "prozorima" veštačkih izotopa cezijuma-137 i cezijuma-134, posle velikih havarija nuklearnih reaktora**. Tada se kao glavni problem postavilo pitanje tačnog razdvajanja podatka prirodnog gama zračenja od podatka veštačkih uzročnika registrovanih u istom "kanalu" ili "prozoru" pri ekološkim ispitivanjima.

Eksperiment koji ćemo analizirati izveden je na kalibracionim pločama dimenzija (8mx8m) korišćenjem seta od četri kristala (NaJ) dimenzija (102x102x406 mm). Upotrebljene su standardne šper ploče u cilju pokrivanja površine dimenzija 2,4x2,4 m. Detektorski sistem bio je centriran na sredini ploča.

Podaci gama zračenja registrovni su deset (10) sekundi na magnetskoj traci, u 256 kanala-koji pokrivaju energetski opseg od 250-3000 KeV. Registrovano je približno 30 puta po deset sekundnih merenja spektra na svakoj kalibracionoj ploči. Ta dužina vremena omogućila je raspolaganje dovoljnim brojem podataka u svakom kanalu. To je omogućilo dobijanje odgovarajuće statističke greške za odgovarajuću zapreminu detektora. Šperploče su dodavane sa korakom od oko 38 mm (1,5 in=3 x 12.5 mm) sve do debljine od 300 mm što pokriva ekvivalentnu visinu letilice od 112 m.

U energetskom opsegu od 250 - 2600 KeV Komptonovo rasejavanje je dominantan proces interakcija gama zračenja sa materijom. Ovo važi kako za vazduh tako i za šper ploču. Zbog činjenice da se ove dve sredine sastoje od elemenata sa niskim atomskim brojevima posledice "Komptonovog" rasejavanja su identične.

U procesu Komptonovog rasejavanja gama fotoni kolidiraju sa elektronima atoma predajući deo svoje energije elektronu, pri čemu skreću pod nekim uglom u odnosu na svoj prethodni pravac kretanja. Pošto vazduh i šperploča imaju isti broj elektrona po gramu materije imaju i iste efekte na slabljenje gama radijacije. Merenjem mase po jedinici površine svake šperploče može se odrediti kojoj visini aviona odgovara jedna debljina šperploče.

Prva faza u obradi rezultata testa bila je konvertovanje svih podataka, registrovanih u 256 kanala, na isti kalibracioni nivo sa širinom kanala od 12 KeV. To je neophodno uraditi zbog potrebe eliminisanja uticaja temperature na oblik spektra i njegovo "bežanje" ulevo ili udesno za vreme izvođenja eksperimenta.

Posle preciznog podešavanja položaja svakog podatka u spektru prirodnog gama zračenja izračunavaju se ogovarajući koeficijenti koji determinišu količinu gama zračenja koje se registruje u svakom "kanalu" ili "prozoru" spektra, a koje potiče od nekog drugog izvora gama zračenja čije energije ne pripadaju datom kanalu.

Podaci radioaktivnosti nekog terena kontaminovanog veštačkim radioaktivnim izotopima, koji su registrovani u "prozoru" cezijuma-137 i cezijuma-134, a koji potiču iz, na primer, havarisanog nuklearnog reaktora iz Černobilja, opterećeni su i uticajem prirodnog gama zračenja kalijuma, urana i torijuma.

Ako želimo da rezultate ispitivanja radioaktivnosti koristimo u cilju zaštite prirode i živog sveta neophodna je tačna informacija, **posebno o veličini prirodne radioaktivnosti, a posebno o veličini veštačke radioaktivnosti**. Iz tih razloga bio je izvršen eksperiment na kalibracionim pločama sa AGS sistemom koji je rezultirao dobijanjem po devet spektara gama zračenja za svaku kalibracionu ploču (slika 82). Četvrta ploča je služila za određivanje osnovne radijacije. Podaci su registrovani u digitalnom obliku što je omogućilo kompjutersku analizu podataka i **izračunavanje koeficijenata uticaja prirodnog gama zračenja (a1, a2 i a3) tehnikom "KORELACIJE", odnosno LINEARNE REGRESIJE, odnosno MATRICA**, pri čemu se rešavaju sistemi od po tri linearne jednačine sa tri nepoznate za svaki kanal spektra, odnosno svaki set konstanti.

Ako obeležimo podatak registrovan u "prozoru" cezijuma kada se detektor gama zračenja nalazi na kalijumskoj, uranskoj ili torijumskoj kalibracionoj ploči sa RCs_k, RCs_u i RCs_t respektivno, a podatke registrovane u "prozorima" kalijuma, urana i torijuma sa (K_k, U_k T_k); (K_u, U_u T_u) i (K_t, U_t T_t) tada možemo napisati sledeće relacije:

$$RCs_k = a_1K_k+a_2U_k+a_3T_k+OR \quad \text{.....(56)}$$

$$RCs_u = a_1K_u+a_2U_u+a_3T_u+OR \quad \text{.....(57)}$$

$$RCs_t = a_1K_t+a_2U_t+a_3T_t+OR \quad \text{.....(58)}$$

Pri čemu je sa OR označena osnovna radijacija koja se oduzima od podataka svakog kanala spektra koji korigujemo.

Prikazanu relaciju možemo napisati u obliku matrice podrazumevajući da smo osnovnu radijaciju prethodno otklonili:

$$\begin{bmatrix} RCs_k \\ RCs_u \\ RCs_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_k & U_k & T_k \\ K_u & U_u & T_u \\ K_t & U_t & T_t \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad \text{..... (59)}$$

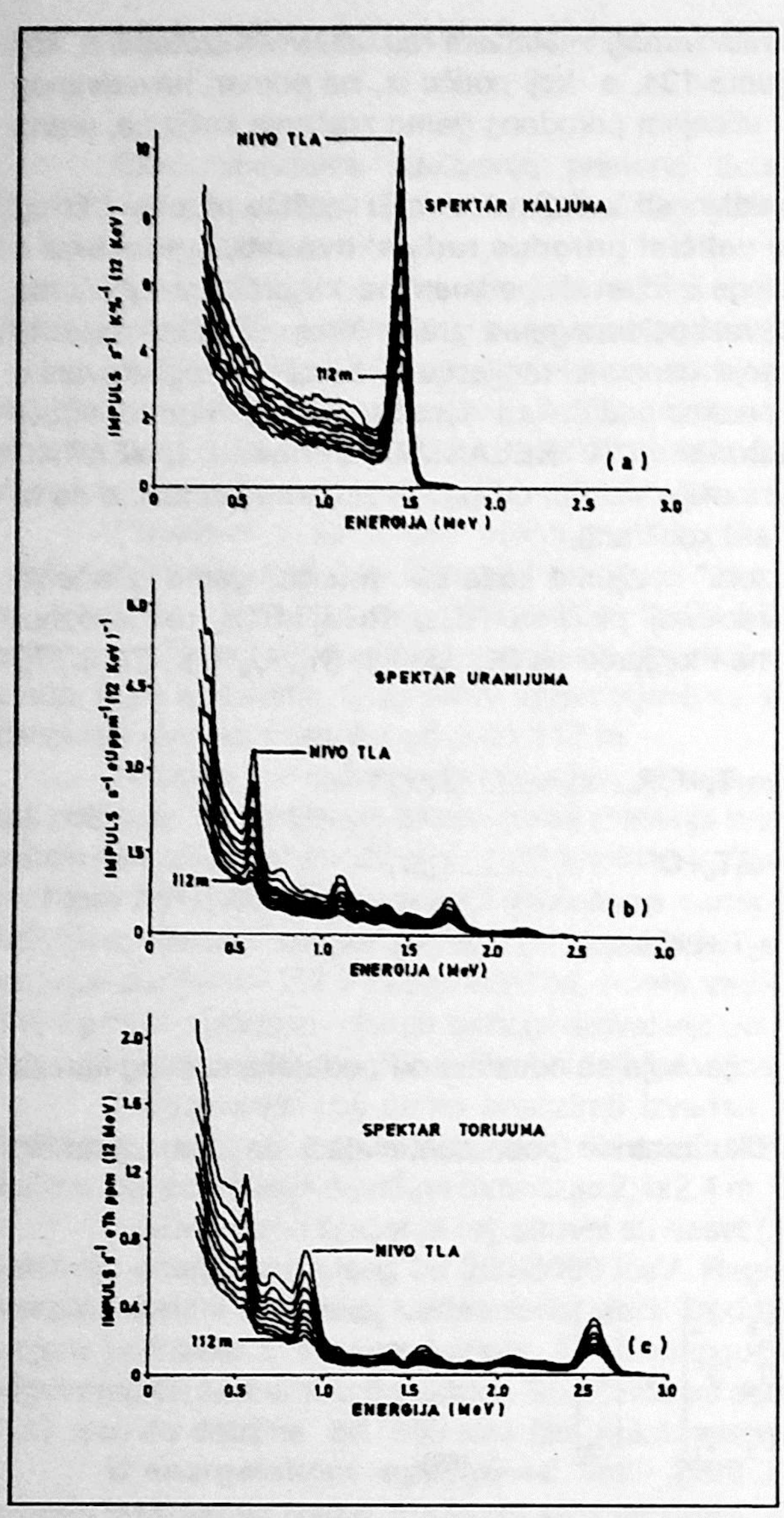
matrica (59) ima sledeći opšti oblik:

$$\lfloor \overline{A} \rfloor = \lfloor \overline{B} \rfloor * \lfloor \overline{X} \rfloor \quad \text{..... (60)}$$

odakle sledi

$$[\overline{X}] = [\overline{B}]^{-1} * [\overline{A}] \quad \text{..... (61)}$$

daljim razvijanjem matrice (61) dobijamo:



Slika 82

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_k & U_k & T_k \\ K_u & U_u & T_u \\ K_t & U_t & T_t \end{bmatrix}^{-1} x \begin{bmatrix} RCs_k \\ RCs_u \\ RCs_t \end{bmatrix} \quad ..(62)$$

rešenje inverzne matrice biće:

$$[B]^{-1} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{31} \\ A_{12} & A_{22} & A_{32} \\ A_{13} & A_{23} & A_{33} \end{bmatrix} \quad .....(63)$$

obzirom da su matrice (A), odnosno (X), oblika :

$$[A] = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix} ; [X] = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

pa su članovi: b_{12}, b_{13}, b_{22}, b_{23}, b_{32}, b_{33}, a_{12}, a_{13}, a_{22}, a_{23}, a_{32} i a_{33} jednaki nuli zbog čega se rešenja svode na formule opšteg oblika:

$$a_{ij} = A_{i1} b_{1j} + A_{i2} b_{2j} + A_{i3} b_{3j} \quad .....(64)$$

iz čega slede rešenja problema:

$$a_1 = A_{11}RCs_k + A_{12}RCs_u + A_{13} RCs_t \quad .....(65)$$
$$a_2 = A_{21} RCs_k + A_{22}RCs_u + A_{23} RCs_t \quad .....(66)$$
$$a_3 = A_{31} RCs_k + A_{32} RCs_u + A_{33} RCs_t \quad .....(67)$$

formule (65, 66, 67) daju definitivna rešenja za koeficijente: a_1, a_2 i a_3 koji omogućavaju određivanje uticaja prirodnih radioaktivnih izotopa na podatak gama zračenja veštačkih izvora gama zračenja koji je registrovan u "prozorima" Cs-137 i Cs-134.

Potrebni podaci za izračunavanje koeficijenata dobaju se isključivo korišćenjem kalibracionih etalona.

S obzirom na to da u Jugoslaviji ne postoje kalibracioni etaloni, a da su eksperimentalna merenja izvedena sa detektorima gama zračenja identičnih karakteristika, onim sa kojima je izvršeno ispitivanje svih naših terena, za naša proučavanja iskoristićemo grafike spektara gama zračenja registrovanih za vreme opisanog opita. Konstante izračunate na taj način upotrebićemo za obradu podataka AGS ispitivanja u koje ćemo registrovati toku krucijalnog opita.

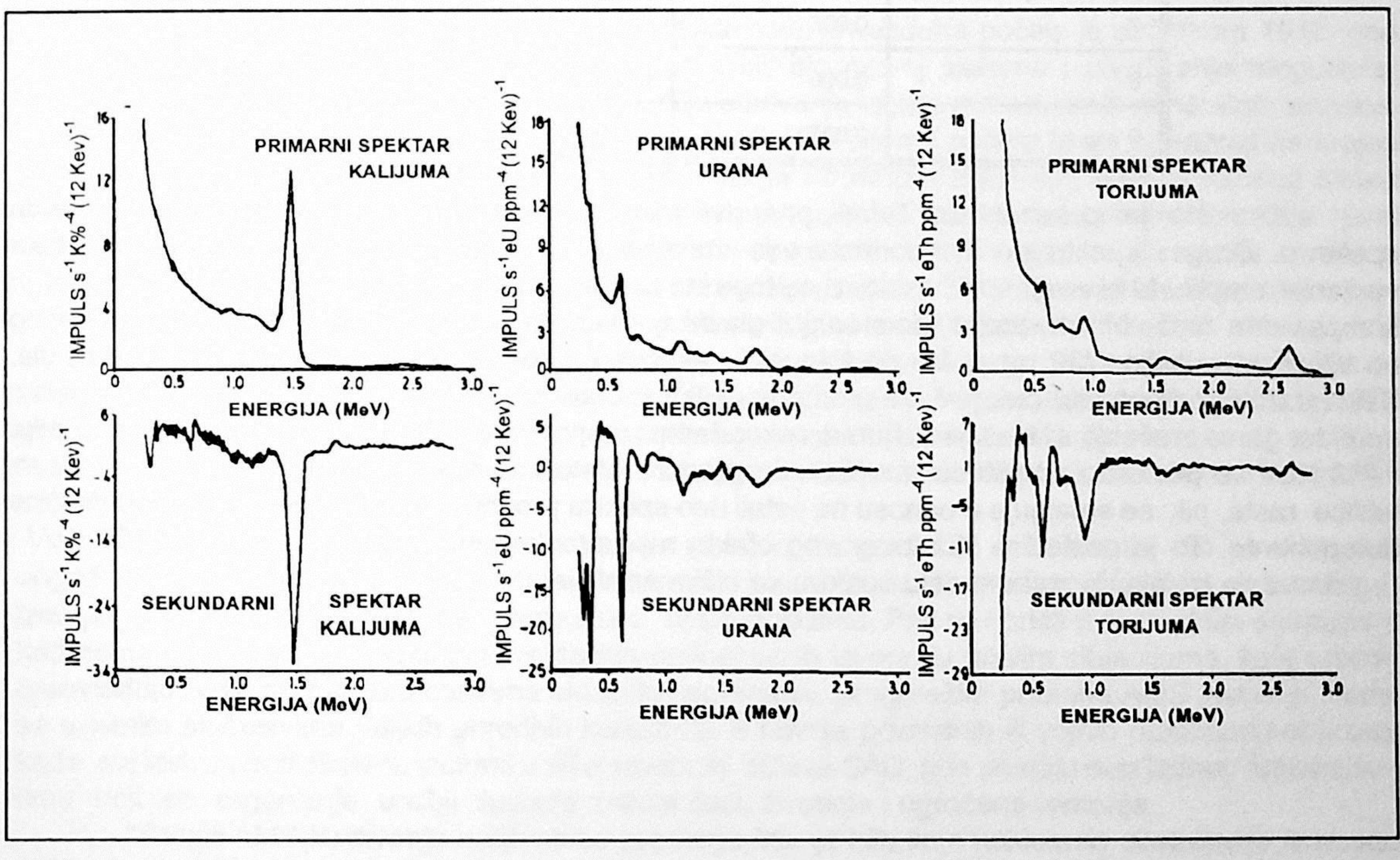
U cilju korišćenja rezultata eksperimentalnih merenja spektra za devet ekvivalentnih visina aviona, neophodno je odrediti oblik spektra za bilo koju međuvisinu. To se može postići na više različitih načina interpolacije.

Sa idejom formiranja postupka koji taj zahtev može zadovoljiti na prost način bez obaveze ubacivanja svih podataka ispitivanja u kompjuter, u Kanadi je analizirano devet spektara svakog radioaktivnog elementa, primenom matematičke procedure generalno poznate kao **FAKTORSKA ANALIZA**. Poseban pristup tada primenjen naziva se **ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI**. Svrha analize glavnih komponenti je razbijanje svakog od devet individualnih spektara u različit broj spektralnih komponenti u cilju proučavanja kako te različite komponente variraju sa visinom letilice.

Pretpostavimo na nekoj visini (h) spektar tri prirodna radioaktvna elementa (K, U i Th). On može biti napisan kao suma (N) spektralnih komponenti f(E), gde je (E) energija gama zračenja. Spektar S(h,E) se tad može izraziti sledećom formulom:

$$S(h,E) = \sum_{i=1}^{N} a_i (h)\, f_i (E) \ldots\ldots\ldots (68)$$

Ako uzmemo da je veličina (N) mali broj, zavisnost spektra od visine može tada biti lako određena. Funkcija (a_i) je **amplituda koja zavisi od visine** i određuje veličinu doprinosa svake spektralne komponente ukupnom spektru. Analize spektra su urađene korišćenjem standardnog matematičkog paketa. Devet spektralnih komponenti izračunato je za svaki pojedinačni spektar, svakog radioaktivnog izvora, zajedno sa amplitudama za svaku od devet odgovarajućih visina.



Slika 83

Utvrđeno je da najveći uticaj na svih devet merenih spektara ima **primarna komponenta**, a da je od sledećih devet najznačajnija komponenta - **sekundarna komponenta**.

Slika 83 pokazuje izglede primarne i sekundarne komponente za spektre kalijuma, urana i torijuma.

Utvrđeno je, takođe, da su ponašanja amplituda komponenti urana i torijuma slična. Na Tabeli XXIII prikazan je relativan uticaj svake od devet spektralnih komponenti na podatke eksperimenta.

TABELA XXIII

SPEKTRALNA KOMPONENTA	KALIJUM	URAN	TORIJUM
1	1.000	1,000	1,000
2	0,066	0,038	0,030
3	0,011	0,006	0,007
4	0,010	0,004	0,006
5	0,008	0,003	0,005
6	0,007	0,003	0,004
7	0,006	0,002	0,004
8	0,006	0,002	0,004
9	0,007	0,002	0,005

Kao što je pokazano na Tabeli, prve dve komponente prividno nose sve podatke merenih spektara. Druge spektralne komponente vrlo malo utiču na oblik spektra i nemaju sistematske varijacije amplituda ekvivalentnih visina, zbog toga što primarno potiču od statističkih šumova. Primarna komponenta može biti shvaćena kao srednji ili glavni spektar. On poseduje oblik spektra reg istrovanog na visini od približno (30 m) pošto na toj visini sekundarna komponenta poseduje amplitudu nula. Sekundarna komponenta omogućava promene oblika spektra sa promenom visine na kojoj se nalazi detektor gama zračenja. U slučaju kalijuma, sekundarna komponenta ima negativnu amplitudu oko pika 1460 KeV a pozitivnu amplitudu u nižim energetskim delovima spektra. Prema tome, ako visina letilice raste, pik se smanjuje u odnosu na ostali deo spektra progresivno sa povećanjem sekundarne komponente. To je posledica Komptonovog efekta rasejavanja gama zračenja energije 1460 KeV i registrovanja rasejanih zraka u delu spektra sa nižim energijama.

31.0. SVETSKA ISKUSTVA U PRIMENI KONTROLE IZ VAZDUHA PRIRODNE I VEŠTAČKE GAMA RADIOAKTIVNOSTI TLA

Veliki broj uspešno realizovanih projekata ispitivanja prirodne radioaktivnosti radiometrijskim i gamaspektrometrijskim metodama iz vazduha, koji su bili urađeni za potrebe geoloških istraživanja u okviru istraživanja ležišta urana ili u okviru regionalno-geoloških radova, dobra je osnova za primenu metode AGS ispitivanja u službi kontrole i zaštite čovekove životne sredine.

Prvi koraci u tom pravcu izvedeni su u SAD početkom šezdesetih godina. Na dalji razvoj najviše su uticala dva događaja koja su inicirala razradu metodskog postupka kontrole radioaktivnosti u službi ekologije. Prvi je bio pad sovjetskog satelita "Kosmos-954", a drugi havarija nuklearne elektrane u Černibilju.

Na osnovu proučavanja teorije i proučavanja iskustava stečenih pri rešavanju stručnih i organizacionih problema u okviru postupaka otklanjanja posledica opisana dva događaja razvijen je, kod nas, algoritam **"Ekologija"**, na bazi kojeg je organizovano registrovanje, obrada i analiza podataka gama zračenja za deo **TIMOČKOG MAGMATSKOG KOMPLEKSA**, veličine 200 km^2. Na taj način, realizovan je **KRUCIJALNI OPIT** primene metode AGS ispitivanja na terenu potencijalno kontaminiranom veštačkim radioaktivnim izotopima.

31.1 Organizacija kontrole životne sredine u SAD

U SAD primena metode ispitivanja radioaktivnosti iz vazduha počela je početkom 1948. god. primenom Gajger-Milerovih brojača, kada je jedini cilj bio razvoj sistema i utvrđivanje mogućnosti korišćenja aeroprospekcije rudnih depozicija u cilju otkrivanja ležišta radioaktivnih mineralnih sirovina.

Druga generacija instrumenata aeroradiometrijskih sistema počela je da se razrađuje krajem pedesetih godina, a bila je u primeni već 1960. kad je i formiran takozvani Aeromonitoring sistem (Aerial Measuring System) - (AMS). AMS sistem primarno se oslanja na primenu metode gama spektrometrijskih ispitivanja iz vazduha, a sekundarno koristi i instrumente za detekciju neutrona, meteoroloških podataka, fotografisanje terena kamerama vellkog formata, multikanalno skaniranje, uzorkovanje vazduha itd. Sredinom pedesetih godina ovog veka događa se niz različitih zbivanja koja su ubrzala primenu aeroradiometrijskih sistema za kontrolu čovekovog životnog prostora. Niz tih događaja počinje havarijom nuklearnog reaktora u mestu Vindskejl (Windscale) u Velikoj Britaniji 1957. god., nastavlja se stvaranjem velikog radioaktivnog oblaka prilikom testiranja nuklearnog oružja u Nevadi (SAD), a produžava se nizom manjih havarija različitih nuklearnih objekata, elektrana, vojnih ili opitnih reaktora.

Sistem za radiološka merenja koji je razvijan za geološka istraživanja bio je više puta angažovan za određivanje položaja i veličine terena koji je bio kontaminiran veštačkim radioaktivnim izotopima. Primena ovog sistema vrši se u dva različita režima. Prvi se koristi u normalnim situacijama kad nema opasnosti od prirodnih ili veštačkih radioaktivnih izvora. U takvim situacijama, koje srećom preovlađuju, vrše se rutinska osnovna ekološka ispitivanja. Drugi režim primene AMS sistema koristi se u hitnim slučajevima velikih prirodnih katastrofa ili havrija privrednih ili vojnih nuklearnih objekata, kada svi instrumenti sistema locirani u više saveznih država SAD, gde postaju deo jednog zajedničkog tima koji se organizuje u cilju najbrže zaštite ljudi, životinja i ugrožene teritorije.

Mnoga AMS ispitivanja urađena su pre nego što je bilo koje nuklearno postrojenje ili reaktor počet da se gradi na odabranoj lokaciji, u toku radova i po završetku radova neposredno pre puštanja u rad. Kasnije permanento se organizuju kontrolna ispitivanja oko reaktora u toku njegovog rada, a obavljaju se iz vazduha kad se vrše ispitivanja spektra gama zračenja sa konstantne visine od 150 m pri brzini kretanja letilice od 80 m/s. Površina koja se ispituje uvek je dimenzija 46x46 km sa objektom koji se kontroliše u centru. Profili ispitivanja su najčešće na rastojanju od 1 km. Na opisan način svake godine dva puta prikuplja se dokumentacija o promeni radioaktivnosti prirodnog i veštačkog porekla na teritoriji koja je potencijalno ugrožena samim prisustvom nuklearnog postrojenja.

Jedna vrlo značajna aplikacija ispitivanja radioaktivnosti obavljena je AMS sistemom kad je on angažovan za Nacionalnu komisiju SAD za vode 1969. godine u cilju istraživanja njenih razvojnih programa. Aeroradiometrijska merenja korišćena su za određivanje slabljenja terestričkog gama zračenja izazvanog uticajem različite debljine snežnog pokrivača na tlu. Ti podaci korišćeni su kasnije za računanje ekvivalentne količine vode koja će se stvoriti topljenjem tog snežnog pokrivača. Kalibracija, prema standardnim metodama, pokazala je da takav sistem može determinisati vodeni ekvivalent snega sa tačnošću od +/- 1 santimetar. Ova tehnika može biti osnov za značajne postupke kontrole hrane od efekata kontaminacije snežnog pokrivača.

Sistem AMS povremeno je bio angažovan za lociranje izgubljenog radioaktivnog materijala.

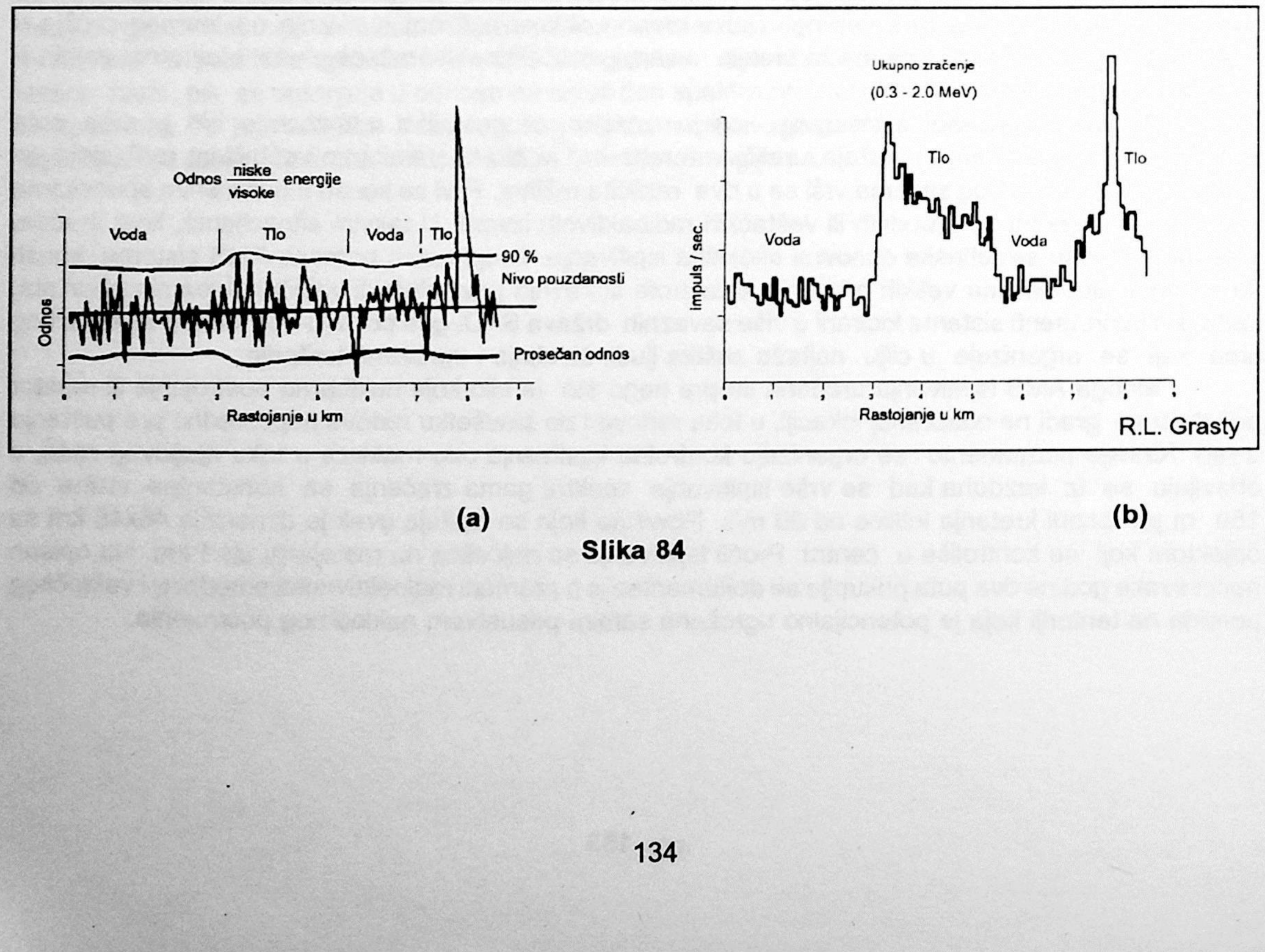
Prilikom gubljenja kobaltnog izvora 1968. god., aktivnosti (330 miliCi), u toku transporta između Salt Lejk Sitija (Salt Lake Sity) i Kanzas Sitija (Cansas Sity) na rastojanju od 1930 km, AMS sistem je bio pozvan u pomoć, posle 15 dana bezuspešnog traganja na zemlji i angažovanja više stotina vojnika i velokig broja terestričkih gama spektrometara. Već drugog dana od početka radova izvor je registrovan i određen mu je tačan položaj što je omogućilo brzo pronalaženje na terenu i odnošenje bez ikakvih posledica po zdravlje angažovanog ljudstva i stanovništva. Najdramatičnija primena AMS sistema dogodila se kad je sistem angažovan u Kanadi prilikom pada sovjetskog, verovatno špijunskog, vojnog satelita "Kosmos-954".

31.2. Pad satelita "KOSMOS-954" i razlozi primene metode AGS ispitivanja

Sovjetski satelit "Kosmos-954" je 1978. godine zbog kvara i gubitka visine pao na teritoriju severozapadne Kanade. Rad uređaja satelita zasnivao se na korišćenju energije koja je dobijana iz nuklearnog reaktora, ugrađenog u sam satelit. Prilikom pada satelita kontaminirana je velika površina radioaktivnim delovima nastalim raspadom satelita i nuklearnog reaktora.

Na dužini od 600 km od Velikog Ropskog jezera (Great Slave Lake) do jezera Aberdin (Aberdin Lake) bili su rasuti ostaci satelita od kojih su neki bili toliko radioaktivni (oko 600 Rentgena) da bi već u dodiru sa njima nastupila trenutna smrt.

Događaj se desio 24. januara, znači u vreme najveće zime kad se najniža temperatura vazduha kreće oko -40 C° i kad je gotovo nemoguće normalno raditi na površini terena, pogotovo na



(a) (b)

Slika 84

površini veličine preko 25000 km^2 na kojoj je bio rasut veliki broj pojedinačnih (tačkastih) radioaktivnih delova reaktora i satelita. To je bio jedan od presudnih razloga zbog kojih je odlučeno da se koristi metoda aerogamaspektrometrijskih ispitivanja iznad potencijalno kontaminiranih površina.

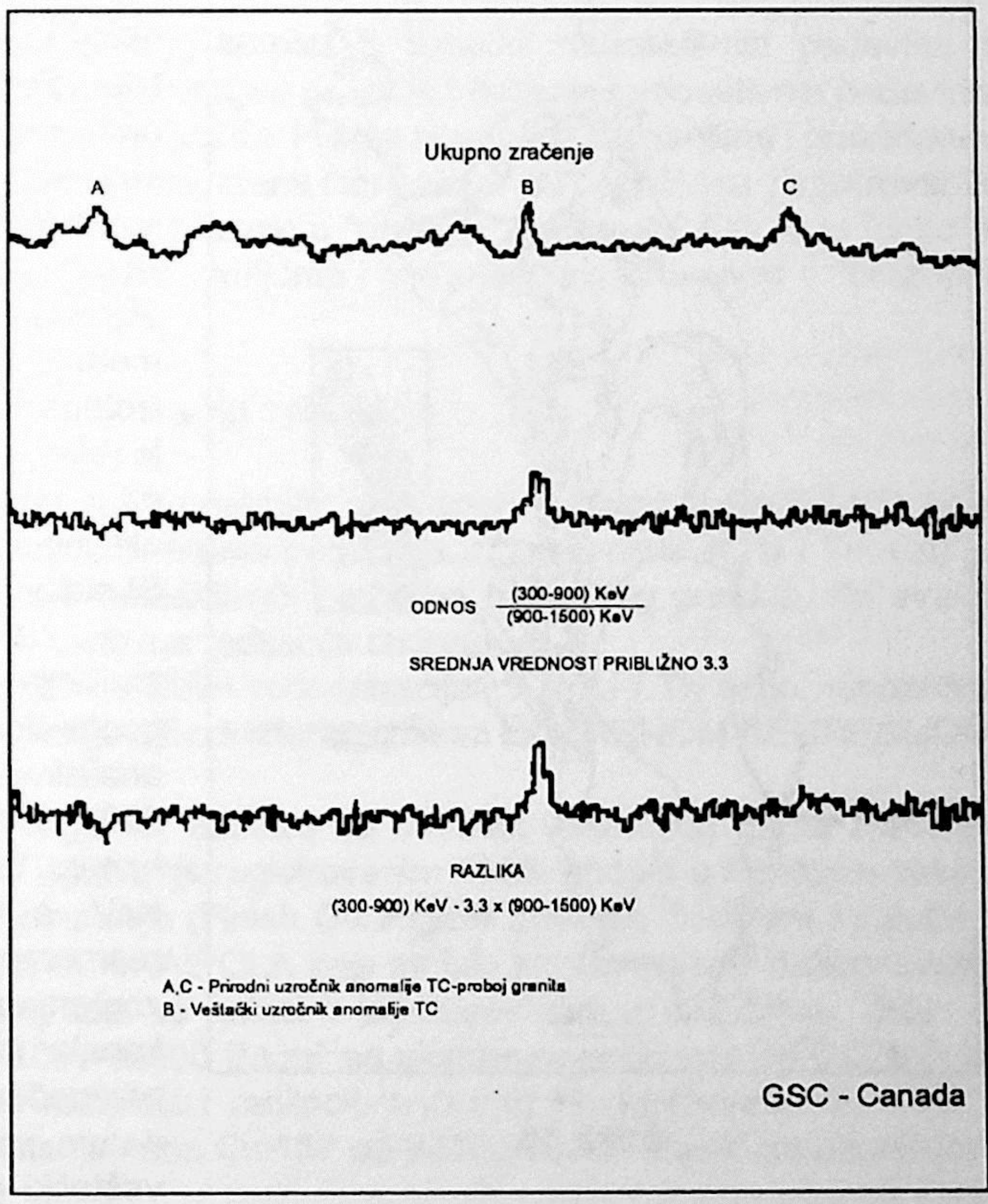
Odmah, dan posle pada satelita, 25. januara AGS sistem Državnog geološkog instituta (Geological Survey of Canada) - GSC sa detektorima gama zračenja zapremine oko 50,0 litara - kristalima NaJ(Tl), i pratećom opremom ugrađen je u avion "Herkules" C-130 koji je iz vojne baze u Edmontonu (Alberta) upućen je na prvu istraživačku maršrutu.

U toku drugog leta, istog dana, registrovan je prvi veštački radioaktivan izvor Lantan-140 sa energijom gama zračenja 1,59 MeV, a zatim, u periodu koji sledi i svi ostali radioaktivni delovi. Ukupna težina prikupljenog materijala bila je 65 kg. Cilj ispitivanja je bio da se nedvosmisleno odrede prostori iznad kojih je registrovano gama zračenje koje potiče od veštačkog radioaktivnog izvora, odnosno sa "Kosmos-a 954".

Na slici 84a prikazan je deo profila koji je tom prilikom ispitivan i kriva sumarnog radioaktivnog gama zračenja, merena u energetskom opsegu od 300 - 2800 KeV.

Iz teorije je poznato, a eksperimentalno dokazano, da je količnik suma takozvanih "niskih" energija iz spektra prirodnog gama zračenja, u energetskom intervalu od 300 KeV do 900 KeV,i suma "visokih" energija, u energetskom intervalu od 900 KeV do 1500 KeV, približno konstantna vrednost što je prikazano na slici 84b na kojoj je uočeno da je količnik "niskih" i "visokh" energija anomalijski visok na 8. kilometru maršrute ispitivanja što je ukazalo na moguću poziciju veštačkog radioaktivnog izvora koji potiče sa satelita "Kosmos-954". Taj podatak omogućio je pronalaženje prvog veštačkog tačkastog radioaktivnog izvora koji direktno potiče sa"Kosmos-a-954".

Prethodnom izmenom operacionog programa aerogamaspektrometar je bio podešen tako da analizira spektar gama zračenja u 256 kanala, u energetskom opsegu od 0 - 3000 KeV, a u 256. kanalu kosmičko zračenje u energetskom opsegu od 3000-6000 KeV. Svi podaci su registrovani u digitalnom obliku magnetnim rekorderom. Spektrometar je, takođe, programiran da pruža informacije u analognom obliku na način, kako je prikazano na slici 85, tako da je već u toku ispitivanja bilo moguće odrediti položaje nekih veštačkih radioaktivnih tačkastih gama emitera. Paralelno sa ispitivanjem kontaminiranog prostora razvijani su kompjuterski programi koji su omogućili bolju selekciju radioaktivnosti nastale kao posledica raspada nuklearnog reaktora satelita "Kosmos-954" na osnovu količnika suma "niskih" i "visokih" energija. Pad satelita "Kosmos-954" i celokupna organizacija rada na terenu prilikom pronalaženja radioaktivnih delova raspadnutog satelita i rešenja stručne i tehnološke prirode omogućili su da se razvije i trajno postavi jedan metodski postupak ekološke kontrole takozvanih pojedinačnih (tačkastih) veštačkih radioaktivnih izvora različitog porekla koji su nekontrolisano dospeli na površinu zemlje.



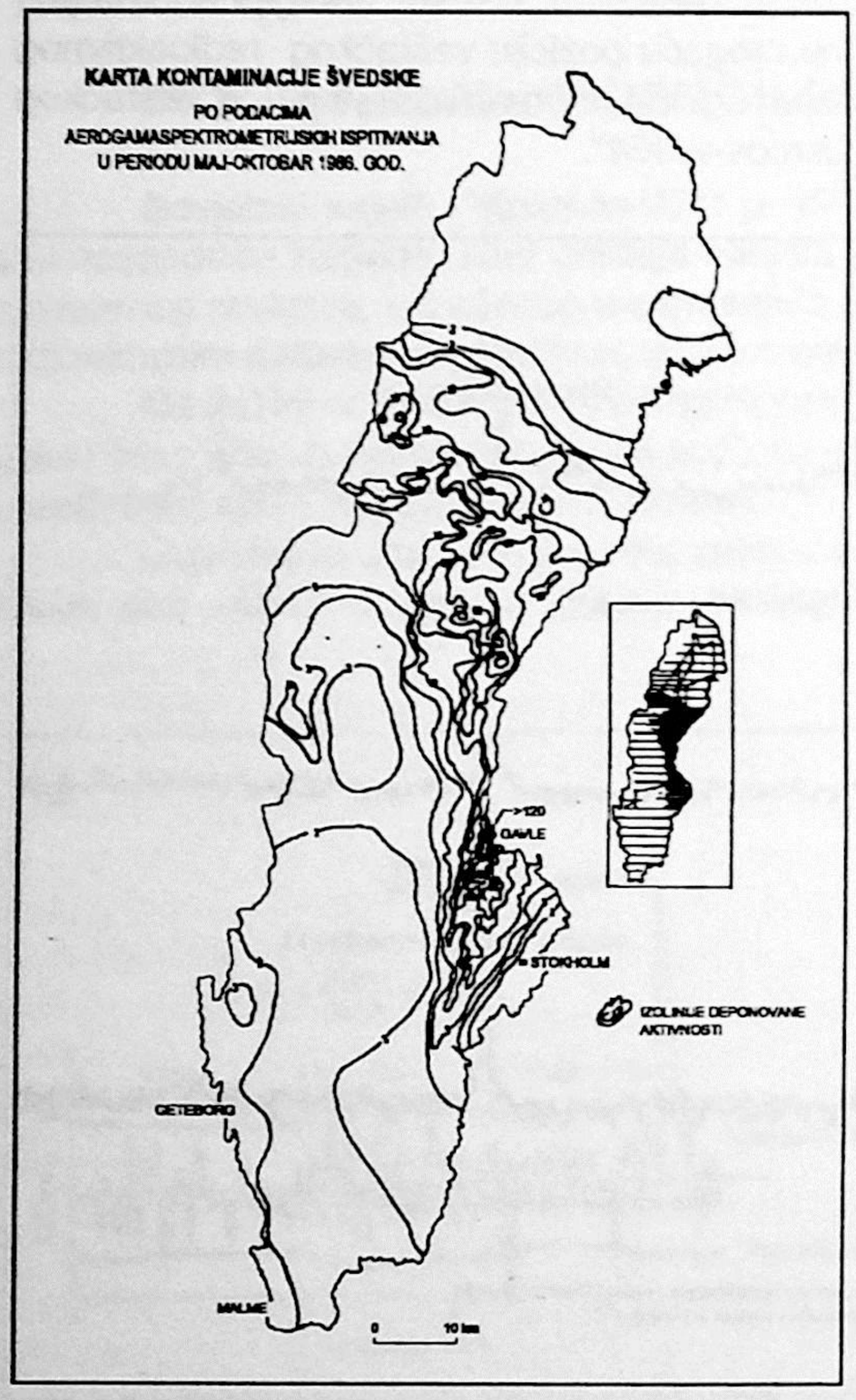
Slika 85

31.3. Primena metode AGS ispitivanja u Švedskoj za vreme havarije u Černobilju

Već drugog dana posle eksplozije nuklearnog reaktora u Černobilju, 28. aprila 1986. godine švedski eksperti su konstatovali povišenu radioaktivnost na svojoj teritoriji. Ubrzo posle dobijanja rezultata niza radiometrijskih i meteoroloških analiza konstatovano je da radioaktivnost potiče izvan granica švedske teritorije. Prvi podaci su ukazivali na moguće pravce Litvanije, Belorusije i Ukrajine. Najviše se sumnjalo da je u pitanju kvar nuklearne elektrane Ignalini u Litvaniji, koja je mnogo bliža od nuklearne elektrane "V. I. Lenjin" u Černobilju.

Od trenutka kad je bilo jasno da je kontaminiran veliki deo švedske teritorije, Švedski Institut za zaštitu od radioaktivnosti uputio je Švedskoj geološkoj kompaniji (SGAB) zahtev da počne sa aerogamaspektrometrijskim ispitivanjima cele teritorije Švedske sa ciljem da se dobije tačna informacija o veličini kontaminacije i položaju najviše kontaminiranih površina u najkraćem vremenskom roku.

U periodu od 1. maja do 19. juna 1986. god. cela Švedska je bila ispitana po profilima na međusobnom rastojanju od 100 i 50km, a na površinama na kojima je konstatovano povećanje radioaktivnosti na rastojanju od 10, 5 i 2 km.



Slika 86

Registrovan nivo radijacije prikazan je u odgovarajućoj formi. Jedan od načina prikaza dobijenih rezultata dat je na slici 86 na kojoj je prikazana aktivnost radioaktivnih padavina na površini terena, izražena u KBq/m^2. Tada je bio upotrebljen najbrži način kalibracije AGS sistema. Mora se konstatovati da ekipa koja je realizovala ova ispitivanja nije unapred bila pripremljena za događaje ove vrste. Ona je praktično u hodu rešavala veliki broj problema koji su se postavljali pred istraživače. Najveći problem bio je konstruisanje algoritma obrade podataka, izrada kompjuterskih programa koji će podržati takav algoritam i obrađivanje konstanti za preračunavanje merenih podataka u aktivnost veštačkih radioaktivnih izotopa koji su najviše kotaminirali tlo. Taj zadatak je relativno brzo završen. Već posle mesec i po dana od početka ispitivanja urađena je verzija karte aktivnosti cezijuma-137 koja je izražena u jedinicama SI sistema - (Bq/m^2).

Instrumenti za detekciju radioaktivnog gama zračenja bili su u celosti oni koji su se koristili pri geofizičkim ispitivanjima za geološke potrebe, a koji analiziraju spektar gama zračenja u intervalu od 0 - 3000 KeV u 255 kanala i kosmičko zračenje u 256. kanalu. Širina svakog kanala, u početku, bila je 12,5 KeV, a kasnije je operativni sistem spektrometra reprogramiran tako da analizira spektar gama zračenja u 24 kanala, sa različitom širinom svakog kanala (od 25 KeV do 600 KeV). To je bilo prilagođeno problemu koji se u datom vremenu i u datom prostoru rešavao. Prethodno je utvrđeno da veštački gama emiteri imaju energije u intervalu od 0-800 KeV zbog čega su kanali spektrometra bili određani tako da energetski deo spektra do 800 KeV bude pokriven sa prvih 17 kanala. Vreme akumulacije bilo je 300 milisekundi. U to vreme nije bilo prihvatljivo da vreme akumulacije bude duže, čak ni do 1 sekunde, jer bi se promene gama zračenja "utopile" u fonske vrednosti. Visina aviona pri ispitivanju bila je 150 m, a merena je preciznim radio visinomerom.

31.4. Kontaminacija teritorije Finske za vreme havarije u Černobilju 1986.godine

Analiza podataka AGS ispitivanja registrovanih u Finskoj posle havarije nuklearne elektrane u Černobilju pokazala je da je neophodno otkloniti uticaj prirodnih izvora gama zračenja iz podataka registrovanih u "prozorima" Cs-137 i Cs-134. Postupak otklanjanja uticaja prirodnih gama emitera, K-40 i produkata raspada radioaktivnih porodica U-238 i Th-232, iz spektra gama zračenja oslanja se na primenu tzv. tehnike KORELACIJE, prikazane u poglavlju 30.0.

Posledica havarije nuklearnih postrojenja u Černobilju bila je i kontaminacija velikih površina teritorije Finske. Analiza podataka registrovanih 1988. god. u Finskoj pokazala je da uticaj prirodnog gama zračenja može biti matematičkim putem otklonjen iz registrovanog spektra. Doprinos standardnih "visokih" energija u "prozorima" "niskih" energija Cs-137 i Cs-134 bio je definisan korišćenjem ranije opisane tehnike. Ako se jednom taj doprinos odredi, uticaj prirodnog gama zračenja na segment spektar gama zračenja "niskih" energija može biti kasnije otklonjen.

Pri primeni ove tehnike postoje dve bazne pretpostavke koje moraju biti zadovoljene:

-prva pretpostavka je da su energije gama zračenja nuklearnog taloga locirane u spektru ispod, ili niže, od "prozora" kalijuma, urana i torijuma koji se normalno koriste pri određivanju koncentracije radioaktivnih elemenata na površini tla.

Lantan-140 sa pikom 1596 KeV je jedini veštački gama radioaktivan izotop fisionog porekla čija energija zračenja pripada delu spektra u kojem su locirni "prozori" K, U i Th. Ipak njegov poluživot od 13 dana utiče da prilikom merenja gama zračenja već 100 dana posle havarije njegov uticaj bude ravan nuli.

-druga pretpostavka je ta da ne postoji korelacija između radioaktivnih padavina i koncentracije K, U i Th u tlu. Ova pretpostavka je prihvatljiva pošto je taloženje radioaktivnih padavina kontrolisano atmosferskim uslovima a ne radioaktivnošću tla. Prema teorijskim saznanjima i praktičnom iskustvu postoji linearna veza između sadržaja kalijuma, urana i torijuma u tlu i podataka registrovanih u "prozorima" K, U i Th (IAEA-1976). Podatak registrovan u "prozoru" ili "kanalu" (i) - R_i je funkcija podataka registrovanih u "prozorima" kalijuma, urana i torijuma i podataka registrovanog u "prozoru" ili "kanalu" (i).

$$R_i = a_1(i) * Rk + a_2(i) * Ru + a_3(i) * Rt + C(i) \quad \text{.....(69)}$$

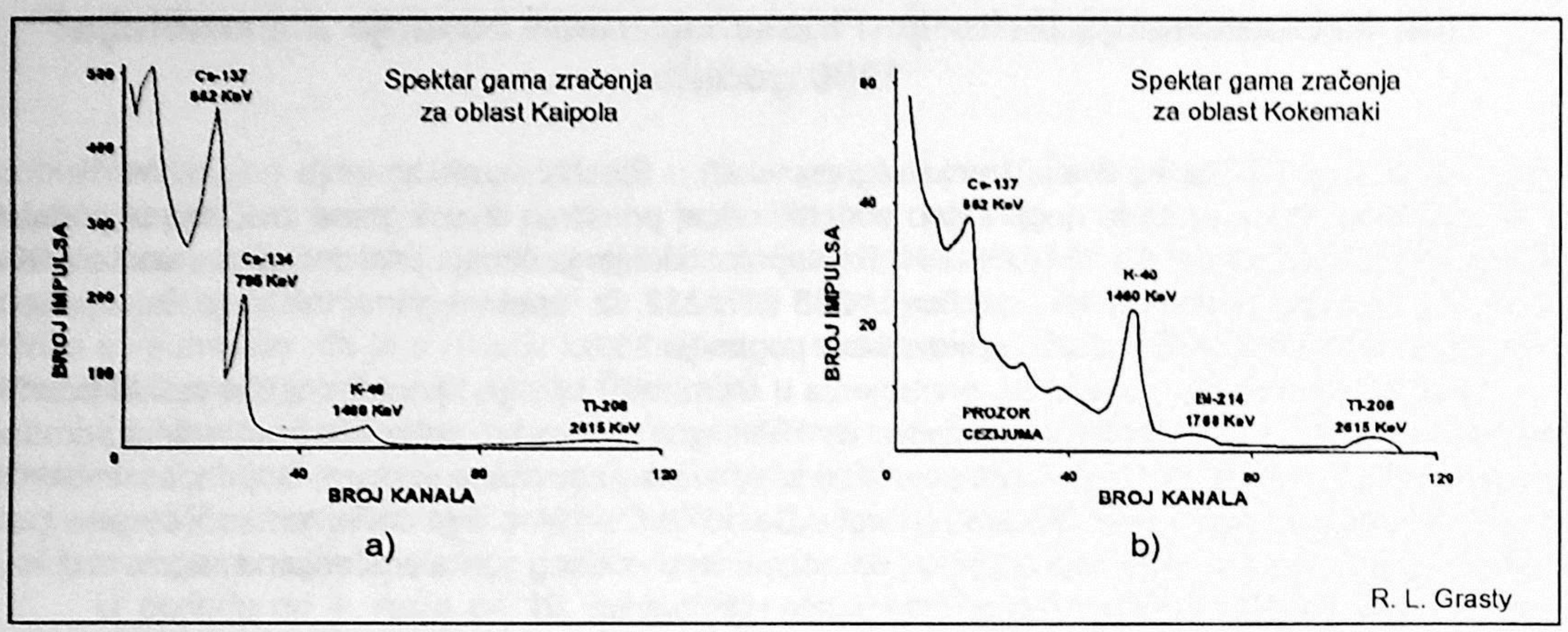
gde su $a_1(i)$, $a_2(i)$, $a_3(i)$ konstante koje su izračunate po postupku razvijenom po formulama (56-67) koje omogućavaju dobijanje "čistog" podatka u kanalu (i) prema podacima u "prozorima" K, U i Th. C(i) je podatak registrovan u kanalu (i) koji potiče od radioaktivnih padavina veštačkog porekla. Pri ovako postavljenim relacijama pretpostavka je da je osnovna radijacija otklonjena.

U praksi letenjem iznad površina sa različitim koncentracijama K, U i Th četiri nepoznate konstante: $a_1(i), a_2(i), a_3(i)$ i C(i) u jednačini (69) mogu biti određene prostom LINEARNOM REGRESIJOM za svaki kanal posebno.

Tehnika otklanjanja uticaja prirodnih gama emitera na podatak veštačkog gama zračenja testirana je 1989. na podacima spektra AGS ispitivanja registrovanim 1988. godine u Finskoj u okviru ispitivanja koja je obavila Finska geološka kompanija (Finish Geological Survey). Testirani su podaci koji su registrovani iznad dve oblasti KOKEMAKI i KAIPOLA koje su bile kontaminirane radioaktivnim padavinama iz Černobilja. Kokemaki oblast, koja se nalazi u jugozapadnom delu Finske, bila je srednje kontaminirana cezijumom-137 od 11000-45000 Bq/m^2 sa ekstremnom dozom od 0.028-0,11 miliSv/h koja je merena od strane Centra za radijaciju i radijacionu zaštitu Finske (Arvela i dr. 1989.).

Kaipola oblast je bila značajno kontaminirana Cs-137 od 23000-78000 Bq/m^2 sa eksternom dozom od 0,056-19 mSv/h.

Slike 87a i 87b prikazuju srednji spektar za Kaipola i Kokemaki oblasti. Na spektru koji je urađen za površinu Kaipola uočava se da je ona daleko više kontaminirana. Pik Cs-137 na energetskoj liniji 662 KeV i pik cezijuma-134 na energetskoj liniji 795 KeV jasno su izmereni u oblasti Kaipola.



Slika 87

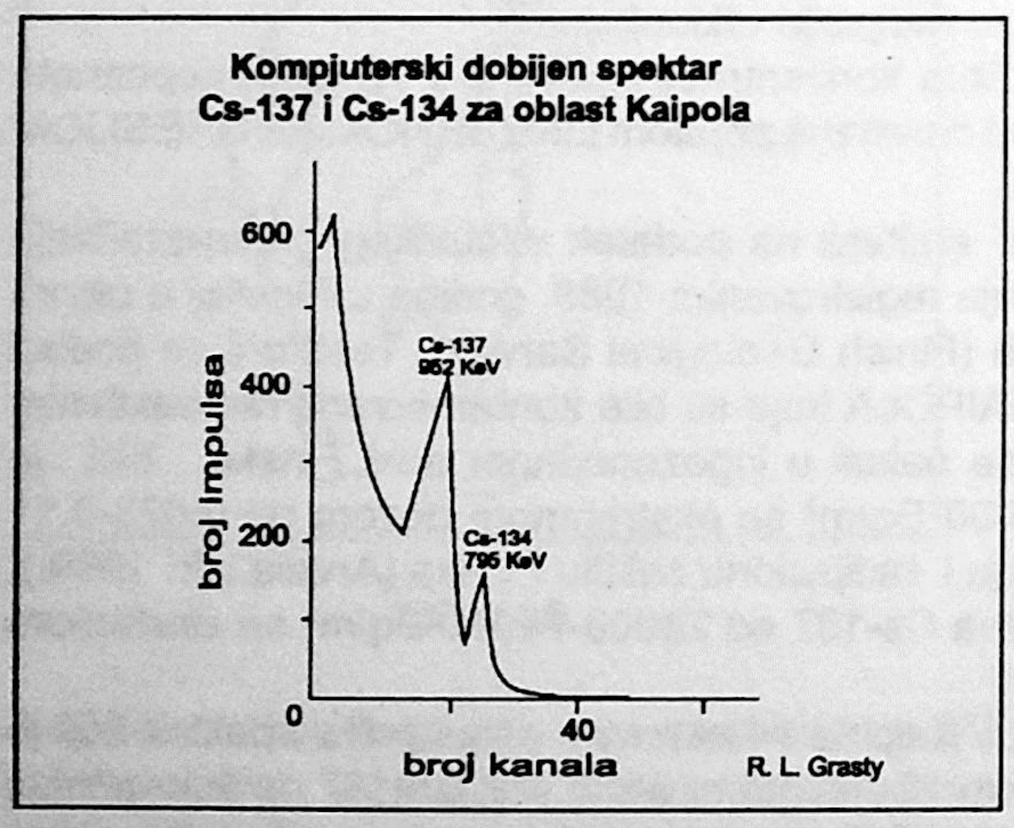
AGS sistem imao je ukupnu zapreminu detektora gama zračenja 25 litara (NaJ), a bio je podešen da registruje 120 kanala u energetskom intervalu od 0-3000 KeV, sa širinom kanala od 25 KeV. Vremenski interval registrovanja podataka bio je (1) sekunda. Ispitivanja su izvršena sa visine od 30 metara.

Podaci koji su testirani za obe oblasti redukovani su zbog velikog broja podataka na ispitivanje letačkih profila dužine oko 100 km (oko 2000 sekundi).

Osnovna radijacija registrovana je iznad vodene površine i pre svih radova otklonjena je iz svakog pojedinačnog kanala posle čega su korigovani podaci za "prozore" kalijuma, urana i torijuma korišćeni u postupku linearne regresije u jednačini (69) za sve kanale ispod kalijumskog prozora.

Slka 88 pokazuje grafik spektra gama zračenja dobijen primenom koeficijenta (ai) iz jednačine (54), za 800 podataka registrovanih u oblasti Kaipola. Levo od pika Cs-134 koeficijent C(i) su ekstremno mali što ukazuje da je navedenom tehnikom zadovoljavajući način otklonjen uticaj K, U i Th na delove nižih energetskih prozora u spektru gama zračenja.

Procedura otklanjanja komponente spektra koja je posledica gama zračenja prirodno radioaktivnih elemenata opisana u poglavlju (17.0) kao tehnika "Korelacije", a zadovoljavajuće testirana na podacima AGS ispitivanja registrovanih 1989. u Finskoj.



Slika 88

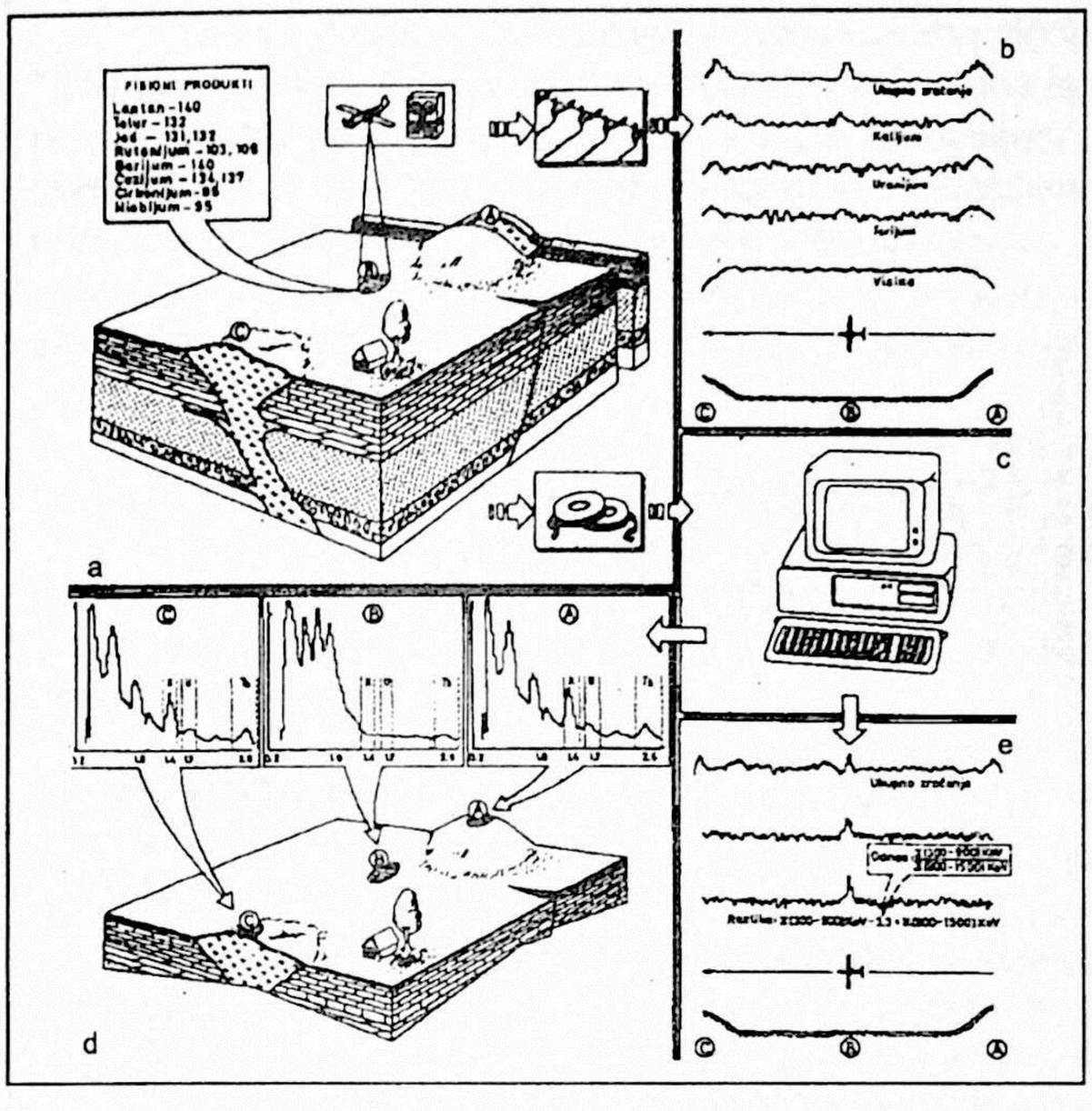
31.5. Jugoslovenska koncepcija utvrđivanja kontaminacije tla prirodnim i veštačkim radioaktivnim izotopima

Neposredno posle alarmiranja naše javnosti i utvrđivanja veličine potencijalne opasnosti po zdravlje velike populacije ljudi i celokupnog živog sveta od havarije u Černobilju pritupilo se i kod nas proučavanju dostupne literature koja je opisivala različite postupke **BRZE** kontrole radioaktivnosti.

Odmah je uočeno da je jedna od najčešće korišćenih metoda - metoda AGS ispitivanja. Ona se u Jugoslaviji koristi od 1980. godine za geološko-geofizička ispitivanja.

Na osnovi iskustava stečenih u prethodnom periodu i podataka iz literature planiran je postupak primene metode AGS ispitivanja čije su osnovne faze realizacije prikazane na slici 89.

U sledećem tekstu u najkraćim crtama opisaćemo osnovne faze realizacije koncepcije metode AGS ispitivanja. Neka letilica sa aerogamaspektrometrom leti maršrutom, prikazanom na slici 89a simbolima A, B i C, koja će poslužiti za objašnjenje problema i načina njegovog rešavanja. Neka se merenje gama zračenja koje je emitovano sa površine terena obavlja svake sekunde, sa visine od 150 m. Za tačke A, B i C dobiće se zapis koji predstavlja podatak gama zračenja koje potiče sa kružne površine radijusa 150 m. Kad se na pozi-ciji tačaka A i C nalaze radioaktivne stene, na primer graniti, koji po svojoj prirodi po-seduju povećan sadržaj K, U i Th regi-strovaće se anomalijski spektar gama zra-čenja, oblika prikazanog na slici 89d za tačke (A i C). Ako bi se u tački B nalazili veštački radioaktivni izotopi nastali fisijom rezultati merenja gama zračenja dali bi, takođe, anomalijski spektar oblika prika-zanog na slici 89d za tačku (B). Prisustvo tri anomalije, odnosno povećanja inten-ziteta gama zračenja, u tačkama A, B i C, bilo bi uočeno već na analognom zapisu (Slika 89b). Prirodu uzročnika povećanja intenziteta gama zračenja odredićemo ana-



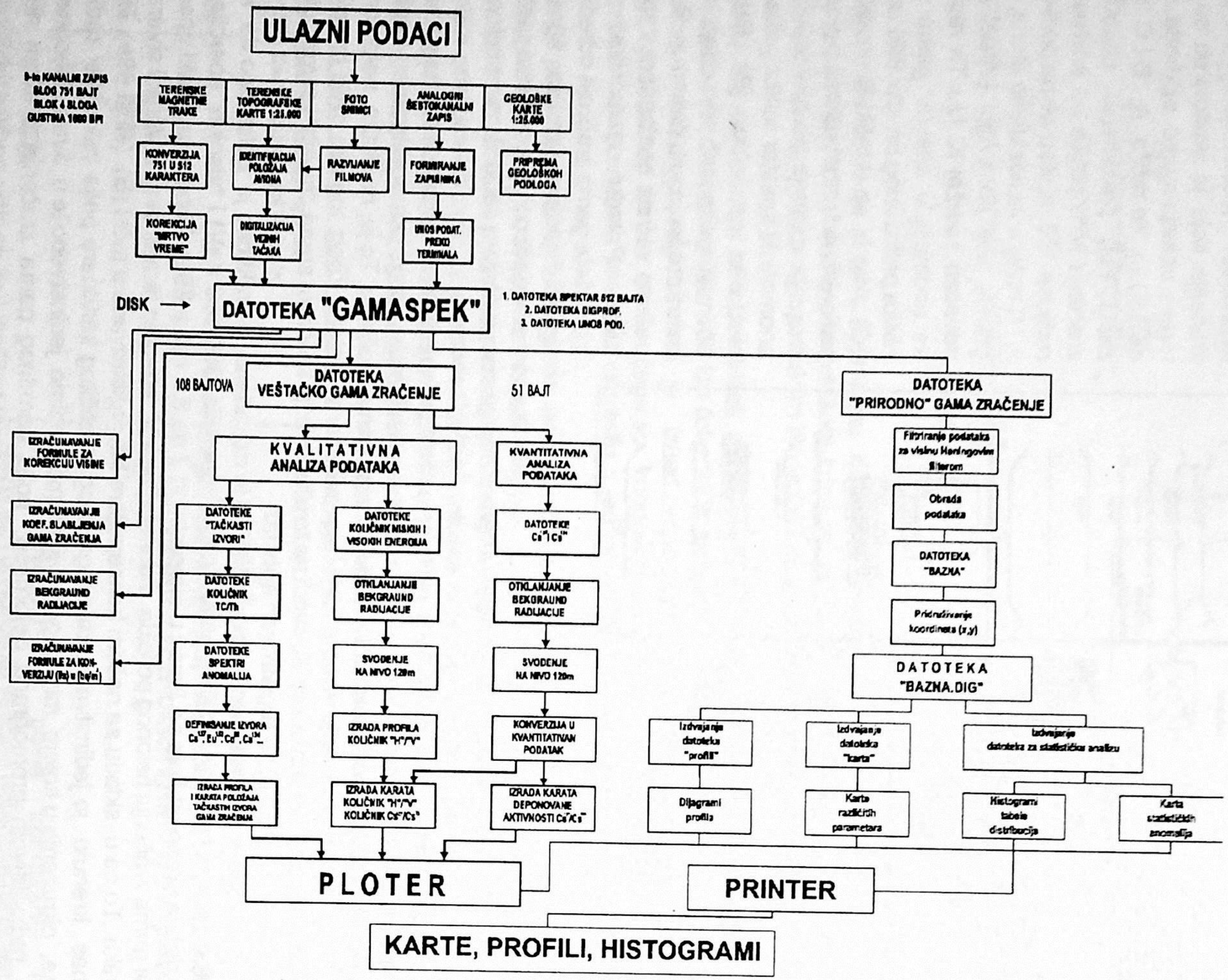
Slika 89

lizom digitalnog zapisa spektra gama zračenja ili crtanjem spektra gama zračenja (slika 89d). Značajno je uočiti da je spektar prirodnog gama zračenja u tački B poremećen u opsegu energija do 1000 KeV prisustvom gama emitera "niskih" energija

U daljoj analizi podataka AGS ispitivanja utvrđujemo prisustvo veštačkih izvora gama zračenja. To se postiže kvalitativnom analizom, odnosno crtanjem svakog jednosekundnog zapisa spektra na kojem je registrovano prisustvo veštačkih izvora gama zračenja. To je, međutim, neracionalan način analize koji bi zahtevao veliko vreme korišćenja računara i plotera. Zbog toga se ovde projektuje elega-ntniji način analize podataka koji se svodi na izračunavanje količnika suma "niskih" i suma "visokih" ene-rgija za svaki pojedinačno registrovan spektar.

Ova ideja se svodi na sledeće: teorijski je razrađeno, a praktično je dokazano da kod spektra prirodnog gama zračenja količnik suma "niskih" energija (300-900 KeV) i "visokih" energija (900-1400 KeV) dobija vrednost koja se kreće u intervalu od 3 do 3.3 (slika 89e). Zbog toga svaki upad veštačkih izvora gama zračenja fisionog porekla u domen "niskih" energija remeti ovaj količnik i stvara anomaliju količnika. To će u skladu sa našom koncepcijom biti registrovano u tački (B). (slika 89e). Put kojim se kod nas krenulo je jedinstven pre svega zbog različitog karaktera polja veštačke radioaktivnosti. Naime, okruženje u kojem mi u Jugoslaviji živimo i radimo jedinstveno je u svetu. Neopravdano veliki broj radioaktivnih gromobrana deformiše polje prirodnog gama zračenja u svom neposrednom okruženju zbog čega smo morali da pronađemo drugi količnik koji će dati nedvosmislene podatke o prisustvu veštačkih fisionih produkata na ispitivanom prostoru. Posle niza opita otkriveno je da je najpogodniji količnik sumarnog gama zračenja sa opsegom energije od 400-3012 KeV i gama zračenja registrovanog u "prozoru" torijuma sa opsegom energija od 2411-2801 KeV - (TC/Th). Na osnovi toga urađen je algoritam metodskog postupka primene AGS ispitivanja u službi ekoloških proučavanja pri kontroli i zaštiti čovekove okoline, koji je ovde nazvan **ALGORITAM "EKOLOGIJA"**.

ALGORITAM "E K O L O G I J A"



Slika 90

32.0. ALGORITAM "EKOLOGIJA"

Algoritam nazvan "Ekologija" definiše sve neophodne postupke pri primeni metode AGS ispitivanja u cilju kontrole nivoa prirodne i veštačke radioaktivnosti u okviru ekoloških projekata zaštite čovekove životne sredine.

Prva odvojena celina koja je projektovana algoritmom može se definisati kao faza prikupljanja **"ULAZNIH"** podataka. Ova faza algoritma prikazana je kao odvojena celina (na slici 90). U okviru nje postavljeni su uslovi koji strogo moraju biti zadovoljeni. Tu spada forma i dužina sloga podataka koji treba registrovati u digitalnoj formi magnetnim rekorderom. Određeno je da svi neophodni podaci čine **slog dužine 751 bajt.** On nosi u sebi informacije o: vremenu registrovanja podataka (čas,minut, sekunda), datumu, broju maršrute ispitivanja, broju kontrolne tačke (foto snimka), rednom broju linije zapisa (skana-sloga), o visini leta aviona, gama zračenju sa površine terena i gama zračenju iz vazduha oko aviona.

Od dopunskih podataka, za ovu fazu realizovanja algoritma, projektovana je upotreba analognih zapisa, foto ili video snimaka, topografskih i geoloških karata.

Drugi deo faze prikupljanja i pripreme "ulaznih" podataka, prema algoritmu, zahteva konverziju registrovanih podataka, identifikaciju video ili foto snimaka (u cilju određivanja stvarne pozicije letilice u toku ispitivanja), unos pomoćnih podataka za obradu (sa analognih zapisnika) i pripremu topografskih i geoloških osnova.

Utvrđeno je, i projektovano, da je minimum neophodnih podataka, koji će biti obrađivani i analizirani u narednim fazama algoritma "Ekologija", moguće složiti u slog dužine 512 bajtova koji formira osnovnu datoteku, nazvanu **"GAMASPEK"** koja se prenosi sa magnetne trake na disk odgovarajućeg računara.

Datoteka "GAMASPEK" koja je formirana kompjuterskim programom **"512"** predstavlja polaznu datoteku za analizu prirode, vrste i veličine gama zračenja. Ona se formira u okviru faze pripreme "ulaznih" podataka od kojih su najglavnije: korekcija "mrtvog vremena" i vremenska normalizacija.

Korekcija takozvanog "mrtvog" vremena obavlja se isključivo zbog elektronskih karakteristika instrumenta GR-800D kod kojeg je neophodno (8) mikrosekundi za transfer registrovanih podataka iz memorije ka periferijskim uređajima. U toku tih osam mikro sekundi instrument je prividno mrtav jer ne prima informacije spolja zbog čega će svaki impuls koji dođe u gama spektrometar biti izgubljen. Korekcija tog efekta obavlja se po formuli koju je dao konstruktor instrumenta, a koja glasi:

$$MV = \sum_{H}^{i=L} \frac{\text{podatak u kanalu (i)}}{\text{vreme akumulacije-(TOTAL ADC}_{dn,upx}\ (8x10^{-6}))} \quad \ldots\ldots\ldots (70)$$

gde su niži kanali označeni sa (L) a viši kanali sa (H)

Završna faza realizacije dela algoritma pod nazivom priprema "ulaznih" podataka definiše digitalizaciju takozvanih "veznih" tačaka (Program **"DIGIT T"**), geoloških granica (Program **"DIGIT G"**) i unosom pomoćnih podataka (Program **"UNOS POD"**). Pod "veznim" tačkama podrazumevaju se, na topografskim kartama, označeni rekonstruisani položaji letilice u toku ispitivanja. Rekonstrukcija položaja, prema našem algoritmu, planirana je na osnovu analize foto snimaka iz foto kamere ugrađene u letilicu.

Druga faza realizovanja algoritma "Ekologija" predstavlja proces pripreme podataka za obradu i analizu dobijenih rezultata. U tom cilju projektovano je formiranje četri osnovne datoteke koje će biti u daljem procesu realizacije algoritma korišćene. To su datoteke **"512", "DIGITKFS.DAT", "DIGITG.DAT" i "FID.DAT"**. Ove četri datoteke formiraju glavnu datoteku koja je nazvana **"GAMASPEK"**. Datoteka "Gamaspek" se dalje deli na dve nove datoteke koje će poslužiti za odvojenu analizu prirodnog i veštačkog gama zračenja. Prva datoteka je **"PRIRODNO GAMA ZRAČENJE"**,

dužine 51 bajt, formira se kompjuterskim programom **"PGZ"**. Druga datoteka - **"VEŠTAČKO GAMA ZRAČENJE"** formira se kompjuterskim programom **"VGZ"**, a njena dužina je 108 Bajtova.

Treća faza realizovanja algoritma definisana je kroz posebne analize datoteka "Prirodno gama zračenje" i "Veštačko gama zračenje" što će, zbog njenog značaja, biti opisano u posebnim poglavljima.

32.1. Datoteka "PRIRODNO GAMA ZRAČENJE"

Forma datoteke "PRIRODNO GAMA ZRAČENJE" određena je na bazi preporuke Međunarodne Agencije za Atomsku Energiju i uputstava konstruktora instrumenta GR-800D koja omogućavaju da se energije gama emitera potomaka radioaktivnih nizova prirodno radioaktivnih elemenata kalijuma, urana i torijuma lako mogu izdvojiti i iskoristiti za određivanje koncentracije u tlu rodonačelnika tih nizova.

Na tim principima projektovani su odgovarajući "prozori" u spektru prirodnog gama zračenja koji reprezentuju intenzitet gama radioaktivnosti ragistrovane AGS ispitivanjima, koji su prikazani na TABELI XXIV (Technical Reports Series No.186, IAEA, 1979.)

Datoteka "Prirodno gama zračenje" TABELA XXIV sastavljena je od niza slogova podataka dužine 51 Bajt. Oni u sebi nose sve informacije neophodne za određivanje EKVIVALENTNOG sadržaja prirodno radioaktivnih elemanata nosilaca radioaktivnih nizova (U-238 i Th-232 i K-40).

TABELA XXIV

DATOTEKA "PRIRODNO GAMA ZRAČENJE"				
NAZIV PODATKA	REDNI BROJ BAJTA	ENERGETSKI PROZOR (KeV)	ENERGETSKI PIK (KeV)	BROJ KANALA U 256 K SPEKTRU
Y	1.			
PROFIL BR.	2. - 6.			
FOTO SNIM.	7. - 11			
FID. BROJ	12. - 16			
SKAN BROJ	17. - 22.			
DATUM	23. - 26.			
Bi-214(Gor)	27. - 29.	1667-1856	1760	141. - 157.
K-40	30. - 33.	1371-1560	1460	116. - 132.
Bi-214(Dn)	34. - 37.	1667-1856	1760	141. - 157.
TL-208	38. - 41.	2411-2801	2620	204. - 237.
TC-(Donji)	42. - 46.	402-3012		34. - 255.
VISINA	47. - 51.			
				(GEOMETRICS,1977)

Iz podataka gama zračenja registrovanih u energetskim "prozorima", prikazanih na TABELI XXIV, posle niza korekcija u procesu obrade, izrađuju se karte i dijagrami sadržaja K, U i Th.

U prethodnim poglavljima opisan je redosled postupaka koji se primenjuju u toku obrade datoteke "Prirodno gama zračenje". Treba naglasiti da je proces obrade tako organizovan da je

moguće dobiti izlazni podatak u kvalitativnom i kvantitativnom obliku. Podatak koji je korigovan za sve uticaje, a nije korišćen za izračunavanje sadržaja prirodno radioaktivnih elemenata kalijuma, urana i torijuma daje nam mogućnost **KVALITATIVNE** analize. U tom slučaju, obrada podataka je izvršena zaključno sa pretposlednjim korakom. Poslednji korak u algoritmu obrade podataka je primena koeficijenata za konverziju podataka. Koeficijenti neophodni za taj poslednji programski korak dobijaju se po postupku, koji je opisan u poglavlju 11.0. Na žalost, u Jugoslaviji ne postoje betonski kalibracioni etaloni zbog čega smo bili primorani da koristimo konstante koje je proizvođač odredio za identičan sistem prilikom njegovog testiranja na kalibracionim etalonima u Grand Džankšnu (Grand Junction) u državi Kolorado, SAD.

Da bi smo na određen način naše radove što više približili zahtevima metode urađene su neophodne analize uzoraka sa terena za koje se očekivao povišen sadržaj pojedinih prirodnih radioaktivnih elemenata. Odabrane su lokalnosti: "Bukulja" (Paun Stena), na kojoj je gotovo pre 40 godina konstatovana uranska anomalija; "Bivoljača" (odlagalište pepela termoelektrane "Nikola Tesla"-B) za koju se očekivao povećan sadržaj prirodno radioaktivnih elemenata urana i torijuma; "Bor" (deo TMK severno od grada Bora) za koji je vezano prirodno obogaćivanje stena kalijumom i koja je poslužila kao prirodni kalijumski etalon. Profili "Valjevo" i "Kalenić" poslužili su u istom cilju kao dodatni podaci. Urađeni su dijagrami koji su poslužili za izračunavanje koeficijenata konverzije registrovanih, odnosno korigovanih podataka, izraženih u impulsima u sekundi (i/s), koji su naneti po ordinati, u veličinu sadržaja urana i torijuma u tlu, izraženu u (ppm), i kalijuma, izraženu u procentima (%) - nanetih po apcisi.

Postupak primenjen u ovom slučaju je identičan onom koji je prikazan na slici 20, a koji su primenili stručnjaci u Čehoslovačkoj. Jedina razlika je u tome što su oni koristili veliki broj uzoraka (173 po lokalnosti).

Poznato je da su registrovani podaci ispitivanja korigovani za uticaje kosmičkog zračenja, zračenja aviona i instrumenata u avionu, uticaje promene pritiska i temperature, Komptonovog efekta i apsorpcije vazduha. Poslednji programski korak je svođenje svih podataka na nivo 120m iznad površine terena.

Konstrukcija dijagrama zavisnosti registrovanog broja impulsa, u različitim "prozorima" spektra gama zračenja, od sadržaja radioaktivnih elemenata u tlu ili stenama izvršena je za "prozore" kalijuma-40 (energetski opseg od 1371-1560 KeV), urana-238 (energetski opseg od 1667-1856 KeV), torijuma-232 (energetski opseg od 2411-2801 KeV), cezijuma-137 (energetski opseg 544-733 KeV) i cezijuma-134 (energetski opseg 745-836 KeV).

Obradom podataka datoteke "Prirodno gama zračenje" uz primenu koeficijenata za konverziju podataka i korekciju svih štetnih uticaja dobijaju se podaci sadržaja i prirodno radioaktivnih elemenata kalijuma, urana i torijuma u tlu.

Na način opisan u poglavlju 13.0 dobijaju se, korigovane i normalizovane na nivo od 120 metara, vrednosti intenziteta gama zračenja, koji su dovoljni za kvalitativnu interpretaciju i prikaz u različitim formama.

Poslednji programski korak u procesu obrade je izračunavanje sadržaja radioaktivnih elemenata: kalijuma, urana i tori juma u tlu po formulama:

$$K\ (\%) = K_{120} * \Delta_{kk} \quad \text{.....(71)}$$

$$eU\ (ppm) = Bi_{120} * \Delta_{uu} \quad \text{.....(72)}$$

$$eTh\ (ppm) = Tl_{120} * \Delta_{tt} \quad \text{.....(73)}$$

pri čemu su K_{120}, U_{120} i Th_{120} korigovani podaci i normalizovani podaci na nivo 120 metara, a konstante Δ_{kk}, Δ_{uu} i Δ_{tt} konstante osetljivosti sračunate po formuli 30. Za izračunavanje koncentracije radioaktivnih elemenata kalijuma, urana i torijuma u tlu koristi se izmeren podatak intenziteta gama zračenja onog rad-ioaktivnog izotopa koji emituje gama zračenje pogodne energije koja može biti lako izdvojena iz spektra.

To su za kalijum - izotop K-40, uran - izotop Bi-214 i torijum - izotop Tl-208. Zbog toga izračunate veličine sadržaja brojno su jednake EKVIVALENTNOJ KOLIČINI urana-238, torijuma-232 u ispitivanom tlu i nose prefiks (e), odnosno, eU i eTh.

Postupak obrade podataka izdvojenih u datoteku "Prirodno gama zračenje" u celosti se realizuje programom **"GAMA"**. Izlazna datoteka nazvana je **"BAZA"** i predstavlja jednu celinu koja, u principu može da se zasebno koristi u procesu kvalitativne analize i interpretacije. Pre nego što se pristupi analizi ove datoteke neophodno je njoj pridružiti odgovarajuće koordinate za svaku registrovanu tačku. To radi program **"BAZNADIG"** a izlazna datoteka nazvana je **"BAZNADIG.DAT"**.

Način korišćenja podataka isključivo u kvalitativnim analizama nema u potpunosti opravdanja zbog činjenice da metoda sama po sebi pruža daleko veće mogućnost interpretatoru da odredi sa velikom tačnošću koliki je sadržaj radioaktivnih elemenata u tlu. Pa, prema tome, ne smemo se zadržati na opisu dobijenih podataka i opisivati da li neki od radioaktivnih elemenata ima relativno viši ili relativno manji intenzitet od neke uslovno određene vrednosti. Zbog te činjenice, algoritmom je projektovana i praktično izvedena **KVANTITATIVNA** analiza podataka koričćenjem rezultata laboratorijskih analiza uzoraka sa već navedenih test profila, što će biti obrađeno u posebnom poglavlju.

Datoteka **"BAZNA.DIG"** je polazište za sve osnovne analize prirodnog gama zračenja. Ona se korišćenjem programa **"PROFILI", "KARTA" i "STATISTIKA"** deli na tri nove datoteke pod nazivima **"PROFILI.DAT", "KARTA.DAT" i "GEOL.SREDINA.DAT"**. Datoteke se tako formiraju da se po potrebi mogu korišćenjem programa **"CRTPROF", "CONTOUR", "HISTOGRAM" i "ANALIZA I ANALIZALN"** upotrebiti za crtanje ili štampanje tabela, profila, dijagrama, histograma ili karata različitih komponenti prirodnog gama zračenja.

32.2. Datoteka "VEŠTAČKO GAMA ZRAČENJE"

Datoteka "Veštačko gama zračenje" je u okviru celog algoritma "Ekologija" isključivo naše autorstvo kao i svi kompjuterski programi koji je podržavaju. Dužina svakog sloga ove datoteke je 108 bajtova (Tabela XXV). Formirana je kompjuterskim programom VGZ. Ona predstavlja kod nas, u odnosu na dosadašnji, kvalitativno viši nivo primene metode AGS ispitivanja i esencijalni izraz svih naših saznanja o mogućnosti proširenja primene ove metode na nova područja, posebno ekologiju. Za tako nešto do danas u našoj sredini nije bilo stvaralačke radoznalosti, a dobrim delom ni stručne osposobljenosti.

Ekološka proučavanja kontaminacije čovekove životne sredine veštačkim radioaktivnim izvorima zahtevaju pouzdano definisanje dve vrste informacija, od kojih je prva informacija o nedvosmislenom utvrđivanju parametara koji ukazuju na prisustvo takozvanih **"tačkastih",** odnosno **pojedinačnih** izvora gama zračenja, veštačkog porekla, a druga informacija poslužiće za utvrđivanje **površinskog** rasprostranjenja veštačkih radioaktivnih izvora.

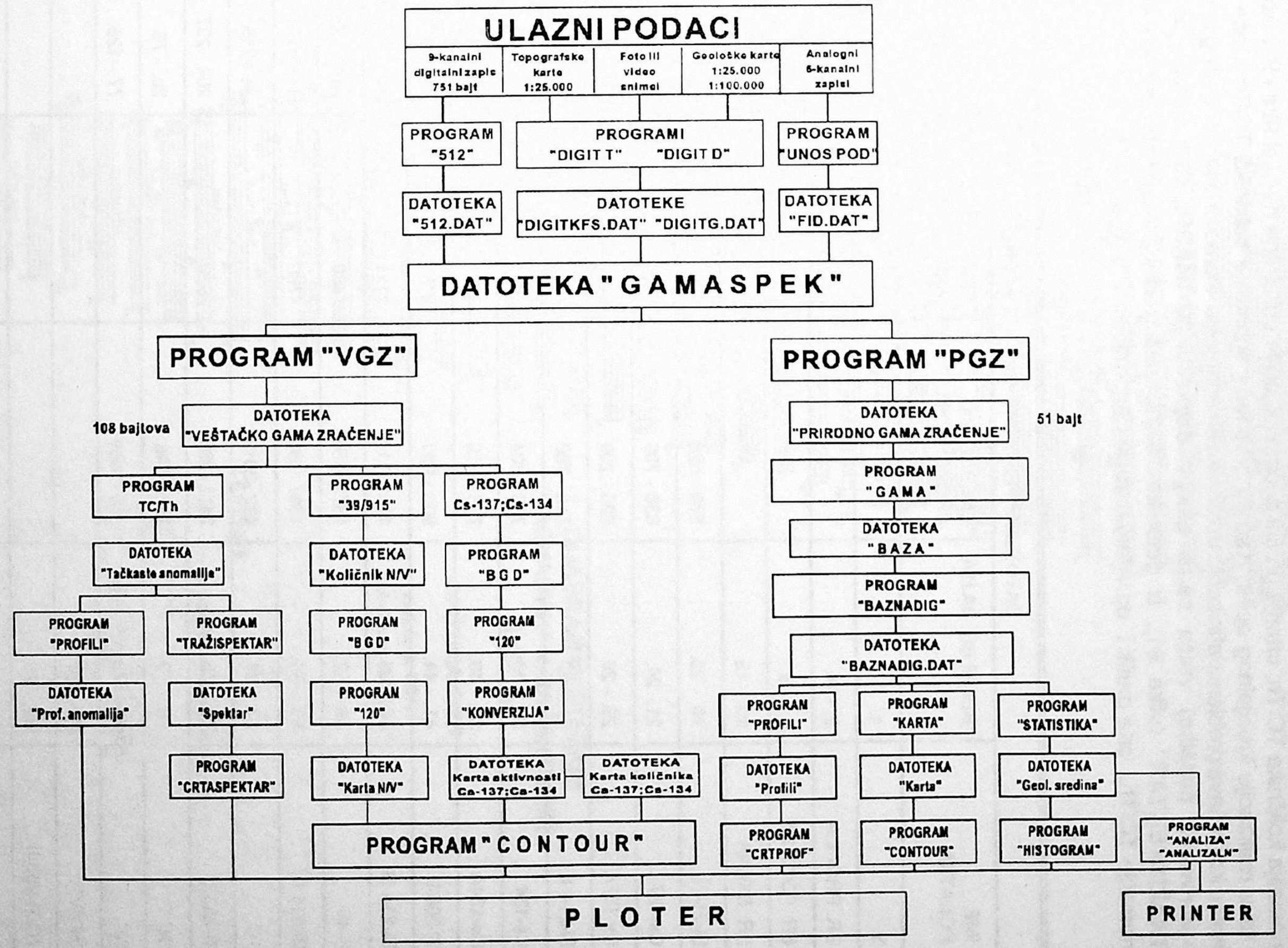
Iz raspoloživih podataka uradićemo **KVALITATIVNU** analizu podataka, koja daje odgovor na pitanje: **da li postoji prisustvo veštačkih radioaktivnih izvora,** i **KVANTITATIVNU** analizu koja daje odgovor na pitanje: **ako postoji, kolika je aktivnost deponovanih veštačkih radioaktivnih izotopa?**

Tabela XXV projektovana je u formi koja je prikazana zbog potrebe izdvajanja podataka intenziteta gama zračenja veštačkih izvora koji su registrovani u delu spektra sa "niskim" energijama, a to znači do 1000 KeV. Podaci intenziteta različitih pikova gama zračenja prirodno radioaktivnih elemenata koji takođe formiraju datoteku VGZ koristite se u procesu otklanjanja njihovog uticaja u "prozorima" cezijuma-137 i cezijuma-134. Za "prozor" Cs-137 sa opsegom energija od 626-709 KeV utvrđeno je da obuhvata i pik (Bi-214 I) koji pripada nizu U-238. Taj podatak je neophodno odbiti da bi bio otklonjen uticaj prirodnih izvora na "prozor" Cs-137. Isti slučaj se događa sa "prozorom" cezijuma-134 sa energetskim opsegom (745-816 KeV) koji obuhvata pik (Bi-214 II) čiji uticaj moramo otkloniti.

Datoteku "VGZ" je neophodno podeliti na dve odvojene celine koje se koriste za kavalitativnu,

ALGORITAM "EKOLOGIJA"

ŠEMA OSNOVNIH KOMPJUTERSKIH PROGRAMA



Slika 91

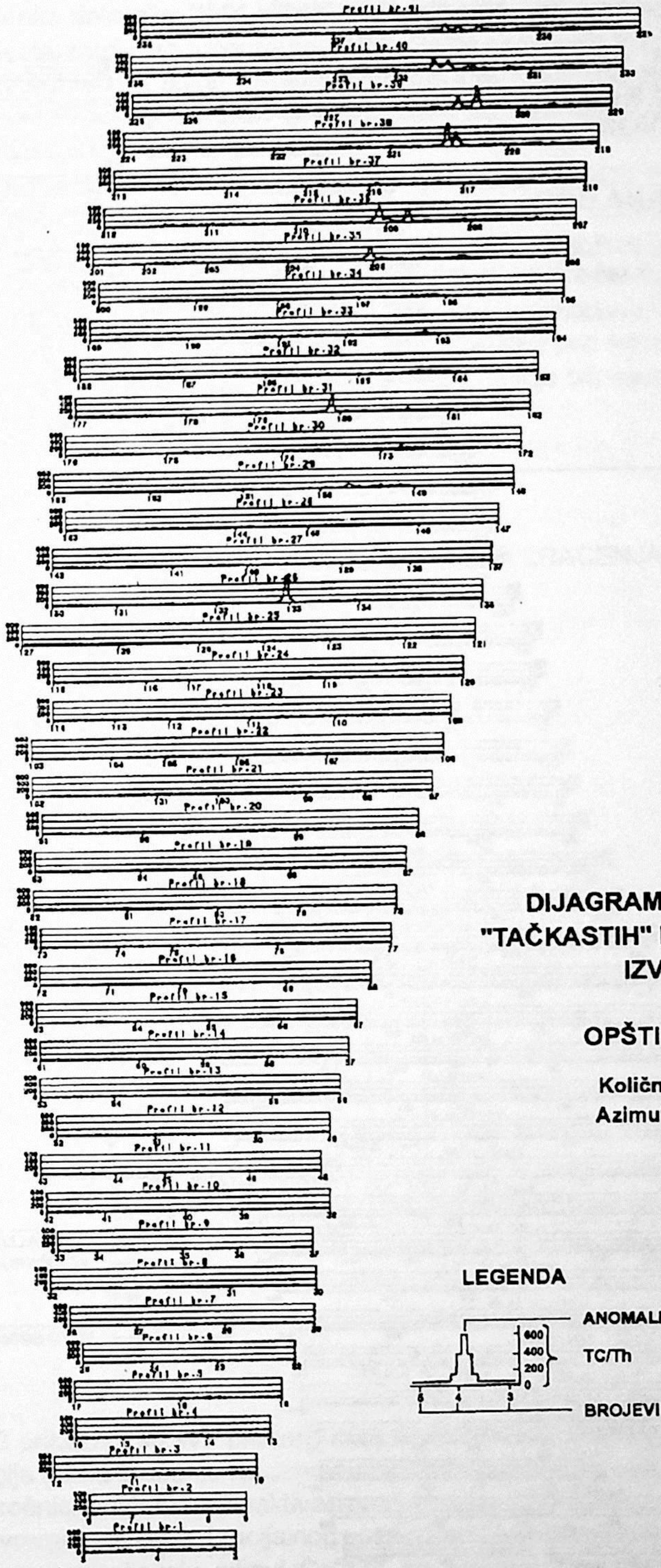
odnosno kvantitativnu analizu (slika 90). Programima **"TC/Th" i "39/915"** (Slika 91) formiraju se datoteke **"TAČKASTE ANOMALIJE" i "KOLIČNIK N/V"** koje će biti korišćene u okviru kvalitativne analize. Programom **"Cs-137" i "Cs-134"** formiraju se datoteke za kvantitativnu analizu podataka.

Sa analizom datoteke "Tačkaste anomalije" kreće se u dva pravca. Prvi je određivanje anomalija količnika TC/Th, crtanje profila anomalija što je prikazano na slici 92a i 92b koja je dobijena u toku realizacije krucijalnog opita. Kad su određene anomalije količnika TC/Th kreće se u drugom pravcu koji rešava problem definisanja uzročnika tih anomalija. Pomoću odgovarajućeg znaka (redni broj registrovanja podatka) vraća se u glavnu datoteku **"GAMASPEK"** i poziva se, programom **"TRAŽISPEKTAR"** (slika 91), iz datoteke **"512"** spektar koji odgovara rednom broju dobijene anomalije TC/Th, crta grafik i određuje uzročnik anomalije.

TABELA XXV

DATOTEKA "VEŠTAČKO GAMA ZRAČENJE"				
IME PODATKA	REDNI BR. BAJTA	ENERGETSKI PROZOR(KeV)	ENERGETSKI PIK(KeV)	BROJ KANALA U 256K SPEKTRU
Y	1.			
BR. PROFILA	2. - 4.			
BR. FOTO SN.	5. - 9.			
BR. SKANA	10. - 15.			
Bi-214 I	16. - 20.	579 - 626	609	49. - 53.
Cs-137	21.- 24.	638 - 709	662	54. - 60.
Cs-137A	25. - 28.	626 - 709	662	50. - 60.
Bi-214 II	29. - 32.	745 - 780	773	63. - 66.
Cs-134	33. - 36.	780 - 804	792	66. - 68.
Cs-134A	37. - 40.	745 - 816	780	63. - 69.
Tl-208 I	41. - 44.	900 - 990	945	76. - 84.
Bi-214 III	45. - 48.	1087 -1135	1111	92. - 96.
K-40	49. - 52.	1371 -1560	1460	116. -132.
Bi-214 IV	53. - 56.	1667 -1856	1760	141. -157.
TC	57. - 61.	402 -3012	---	34. -255.
Tl-208 II	62. - 65.	2411 -2801	2620	204. -237.
"N"	66. - 72.	307 - 898	----	26. - 76.
"V"	73. - 78.	910 -1489	---	77. -126.
"N"/"V"	79. - 81			
TC/Tl-208 II	82. - 85.			
VISINA	86. - 90.			
KOORD. -X	91. - 99.			
KOORD. -Y1	100. -108.			

(M.MILOJEVIĆ,1990.)



DIJAGRAM VEŠTAČKIH "TAČKASTIH" RADIOAKTIVNIH IZVORA

OPŠTINA BOR

Količnik TC/Th
Azimut 46°-226°

LEGENDA

ANOMALIJA KOLIČNIKA TC/Th

TC/Th

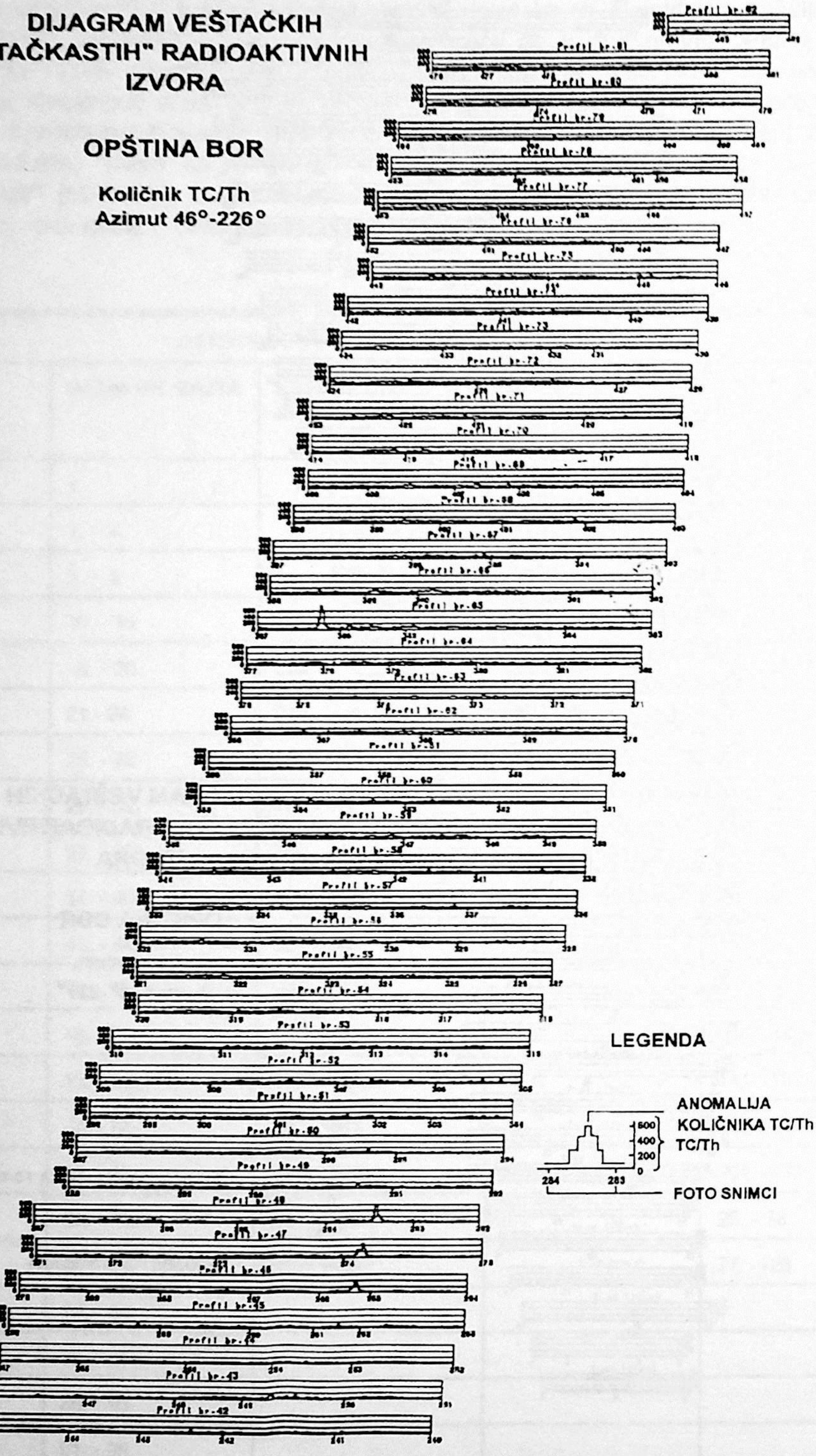
BROJEVI FOTO SNIMAKA

Slika 92a

DIJAGRAM VEŠTAČKIH "TAČKASTIH" RADIOAKTIVNIH IZVORA

OPŠTINA BOR

Količnik TC/Th
Azimut 46°-226°

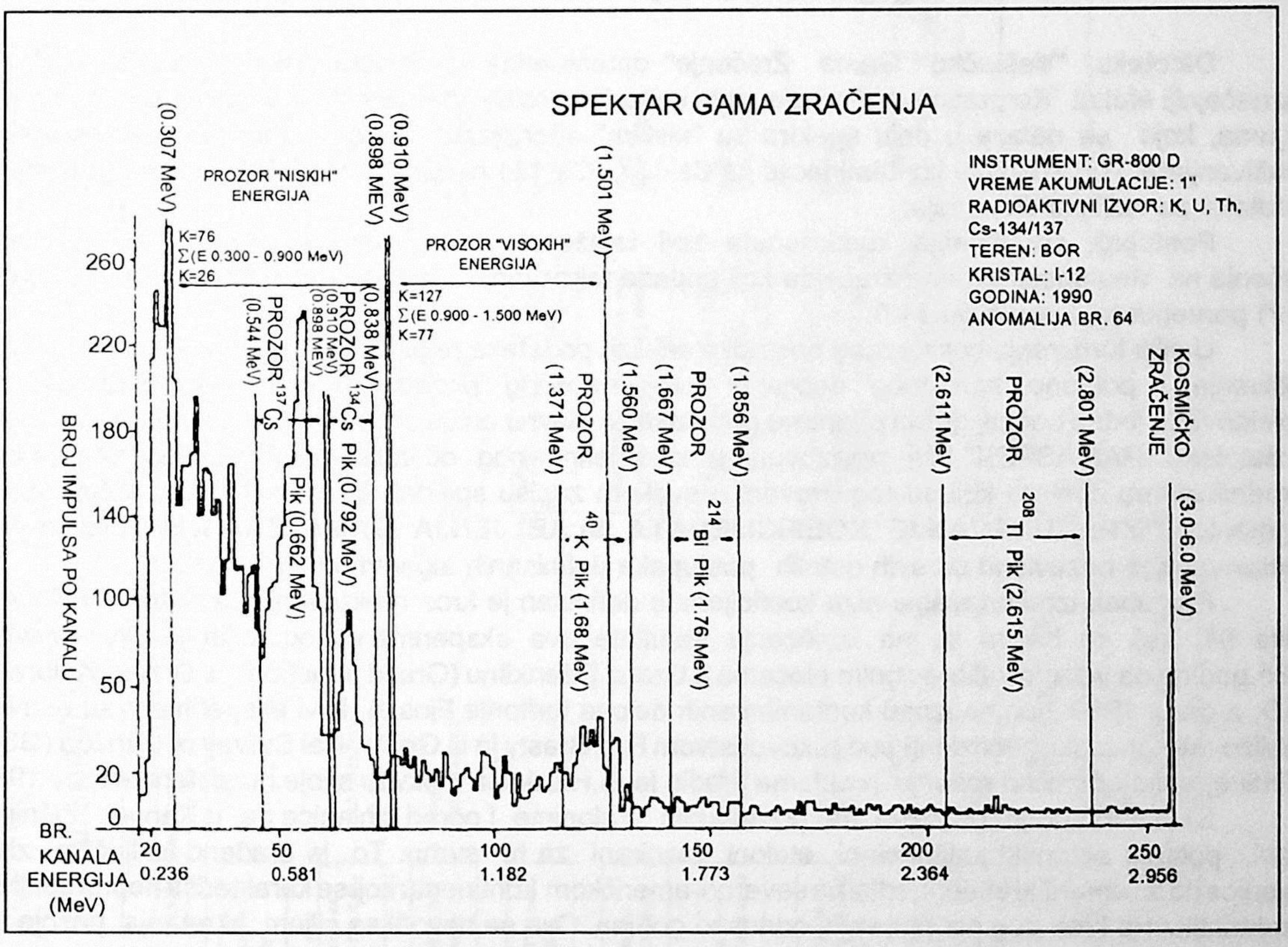


Slika 92b

Količnik "N/V" pruža podatak za prvu kvalitativnu analizu ispitivanja površinske kontaminacije tla. Od svakog podataka datoteke **"KOLIČNIK N/V"** (slika 91) oduzima se osnovna radijacija.Zatim se svi podaci svode na referentni nivo programom "120". Posle obavljenih korekcija crtaju se karte količnika "N/V" iz kojih na kvalitativnom nivou zaključujemo da li je neka površina kontaminirana veštačkim radioaktivnim izotopima ili ne. Na identičan način dobija se **količnik Cs-137/Cs-134** koji pruža mogućnost za zaključivanja druge vrste.

Datoteka Cs-137; Cs-134 (slika 90) primenom programa **"BGD", "120"** i **"KONVERZIJA"** (slika 91) prelazi u datoteku **"KARTA AKTIVNOSTI Cs-137, Cs-134"** koja sadrži kvantitativan podatak površinske kontaminacije tla cezijumom-137 i cezijumom-134. Crtanjem pojedinačnih para-metara ove datoteke dobijaju se karte **DEPONOVANE AKTIVNOSTI Cs-137 i Cs-134** za ispitivanu površinu.

Takozvani "tačkasti" - pojedinačni izvori u dosadašnjoj praksi javljali su se prilikom specifičnih havarija kod kojih nije dolazilo do kontaminacije velikih površina već samo pojedinačnih užih prostora. Primer za to je havarija sovjetskog satelita "Kosmos-954" koji je bio opremljen nuklearnim reaktorom kao energetskim izvorom za napajenje instrumenata.



Slika 93

Na slici 93 prikazani su svi "prozori" neophodni za izračunavanje količnika suma "niskih" (N) i "visokih" (V) energija gama zračenja na osnovu kojih se određuje položaj pojedinačnih anomalija gama zračenja čiji su uzročnici veštački radioaktivni izvori. Na slici 93 prikazan je primer registrovanog spektra gama zračenja za vreme realizacije krucijalnog opita iznad **Timočkog magmatskog kompleksa (TMI**
Na dijagramu se jasno uočavaju pikovi Cs-137 sa energetskim pikom na 662 KeV i Cs-134 s energetskim pikom na 792 KeV, takođe se uočava jasan pik u "prozoru" kalijuma što je posledica geoloških karakteristika terena.

Zbog prestanka važenja, nekih zakonitosti opisanih u poglavlju 31.0, bili smo prinuđeni da formiramo drugi količnik koji će nedvosmisleno odražavati u svakoj varijanti prisustvo bilo kojeg radioaktivnog gama emitera fisionog porekla. Taj količnik je u algoritmu "Ekologija" označen sa TC/Th. Bilo je neophodno pre svega proučiti i odrediti one delove spektra u kojima se uvek registruje prirodno gama zračenje, a istovremeno nikada ne registruje gama zračenje veštačkog porekla. Logično je da podatak ukupnog gama zračenja (TC), koji reprezentuje sve registrovane energije u intervalu od 0 do 3000 KeV, nosi u sebi informacije o prisustvu prirodnih i veštačkih radioaktivnih gama emitera. Takođe je poznato da ne postoji nijedan radioaktivan gama emiter, fisionog porekla, koji poseduje energiju gama fotona veću od 1600 KeV. Zbog te činjenice, odlučili smo se da koristimo količnik TC/Th koji nedvosmisleno manifestuje prisustvo svakog veštačkog, fisionog, izvora gama zračenja, od trenutka njihovog oslobađanja i za sve vreme njihove aktivnosti.

32.3. Izračunavanje parametara uticaja prirodnog gama zračenja na podatke veštačkog gama zračenja metodom "korelacije"

Datoteka "Veštačko Gama Zračenje" opterećena je sa više vrsta uticaja, od kojih su najznačajniji efekat "Komptonovog" rasejavanja i uticaji različitih energetskih linija gama emisija urana i torijuma, koje se nalaze u delu spektra sa "niskim" energijama. Zbog te činjenice, pri ekološkim istraživanjima i određivanju kontaminacije tla Cs-137 i Cs-134 neophodno je izvršiti korekciju merenih podataka za veličinu tih uticaja.

Postupak određivanja koeficijenata koji izražavaju veličinu uticaja prirodnih izvora gama zračenja na deo spektra gama zračenja koji pripada takozvanim "niskim" energijama (od 0 do 1000 KeV) pomenut je u poglavlju 31.0.

U cilju formiranja celokupnog postupka analize podataka registrovanih primenom metode AGS ispitivanja i potpuno korektnog dobijanja neopterećenog podatka u algoritmu "Ekologija" je projektovana jedna bočna grana pripreme podataka za glavnu analizu. Ona bi pre izdvajanja podataka iz datoteke "GAMASPEK" bila realizovana u cilju definitivnog otklanjanja kompleksnog uticaja svih prirodnih gama emitera koji su registrovani u svakom zapisu spektra. Ta bočna grana definisana je segmentom: **IZRAČUNAVANJE KOEFICIJENATA SLABLJENJA GAMA ZRAČENJA** (slika 90). Realizovana je nezavisno od svih ostalih postupaka definisanih algoritmom EKOLOGIJA.

Postupak izračunavanja niza koeficijenata definisan je kroz realizovanje algoritma **"UTICAJ"** (slika 94) koji se bazira se na korišćenju rezultata dva eksperimenta od kojih je prvi obavljen 1985.godine na velikim kalibracionim pločama u Grand Dženkšnu (Grand Junction) u Državi Kolorado, SAD, a drugi 1989. godine iznad kontaminiranih delova teritorije Finske. Prvi eksperiment su osmislili i realizovali kanadski geofizičari pod rukovodstvom R.L.Grasty ja iz Geological Survay of Canada (GSC) iz Otave, a matematičko rešenje problema uradio je B.H.Dikson u okviru svoje magistarske teze 1981.

Eksperiment je obavljen na pomenutim etalonima, i pored činjenice da u Kanadi, tačnije u Otavi, postoje betonski kalibracioni etaloni planirani za tu svrhu. To je urađeno isključivo zbog činjenice da su američki etaloni jedini na severno-američkom kontinentu koji se karakterišu nepromenjivim karaktristikama kroz dug niz merenja, odnosno godina. Ovo se navodi sa ciljem skretanja pažnje na ozbiljnost problema kalibracije instrumenata i izrade kalibracionih etalona.

Podaci eksperimenta obavljenog u Grand Dženkšnu iskorišćeni su za razvijanje dva različita postupka korekcije uticaja prirodno radioaktivnih podataka na deo spektra energija do 1000 KeV. Oni su prikazani algoritmom "UTICAJ". (Slika 94)

U toku realizacije ovog koraka algoritma "Ekologija" izvršena je digitalizacija po devet grafika spektara gama zračenja registrovanih na kalijumskoj, uranskoj i torijumskoj kalibracionoj ploči. Podaci digitalizacije spektara registrovanih na simuliranim visinama po principu opisanom u poglavlju 30.0 na: 0m, 14m, 28m, 42m, 56m, 70m, 84m, 98m, i 112m prikazani su na Tabelama XXV, XXVI i XXVII **(PRILOZI 1, 2 i 3)**(LIT. 40) sa početnim kanalom 25 do poslednjeg kanala 256.

Iz Tabela XXV, XXVI i XXVII izdvojeni su sumarni podaci registrovanih gama zraka u prozorima" cezijuma-137, cezijuma-134, kalijuma-40, urana-238 i torijuma-232, zatim su konstruisani

ALGORITAM " U T I C A J "

ULAZNI PODACI
Digitalizovani spektri registrovani na kalibracionim etalonima K, U, Th

Razvijanje postupka određivanja VGZ tehnikom korelacije

Izdvajanje zbirnih podataka za "PROZORE" Cs-137, Cs-134, K-40 U-238 i Th-232 — Za sve visine od 0 / 112 m i sve tri kalibracione ploče

Izračunavanje uticaja PGZ na deo spektra od 25-85 kanala — Program "KOEFICIJENTI"

Datoteka "KOEFICIJENT" za sve visine i kanale od 25-85

Izdvajanje merenih spektara i korigovanje za osnovnu radijaciju

Izračunavanje uticaja prirodnog gama zračenja (PGZ) za kanale 25-85 — Program "UTICAJ.PGZ"

Izračunavanje veličine veštačkog gama zračenja (VGZ) za kanale 25-85 — Program "MILKE.VGZ"

Datoteka VGZ.DAT za kanale od 25-85 i visinu 112 m

Razvijanje postupka određivanja VGZ tehnikom FAKTORSKE ANALIZE — Razvio : B.H. DICKSON

Izlazne datoteke: Konstante A,Q,C | Koeficijenti f1(E) i f2(E)

Izračunavanje amplituda: a1 i a2 — Program "AMPLITUDE"

Kalijum		Uran		Torijum		Datoteka "AMPL.DAT"
a_{1K}	a_{2K}	a_{1U}	a_{2U}	a_{1Th}	a_{2Th}	

Izračunavanje veličine komponenti primarnog i sekundarnog spektra kanali 10-256 — Program "KOMPONENTE"

Kalijum		Uran		Torijum		Datoteka "PS SPEK.DAT"
K_{pr}	K_{sek}	U_{pr}	U_{sek}	Th_{pr}	Th_{sek}	

Izračunavanje uticaja prirodnog gama zračenja na svaki kanal od 10-256 za sve visine od 0-112 m — Program "UTICAJ"

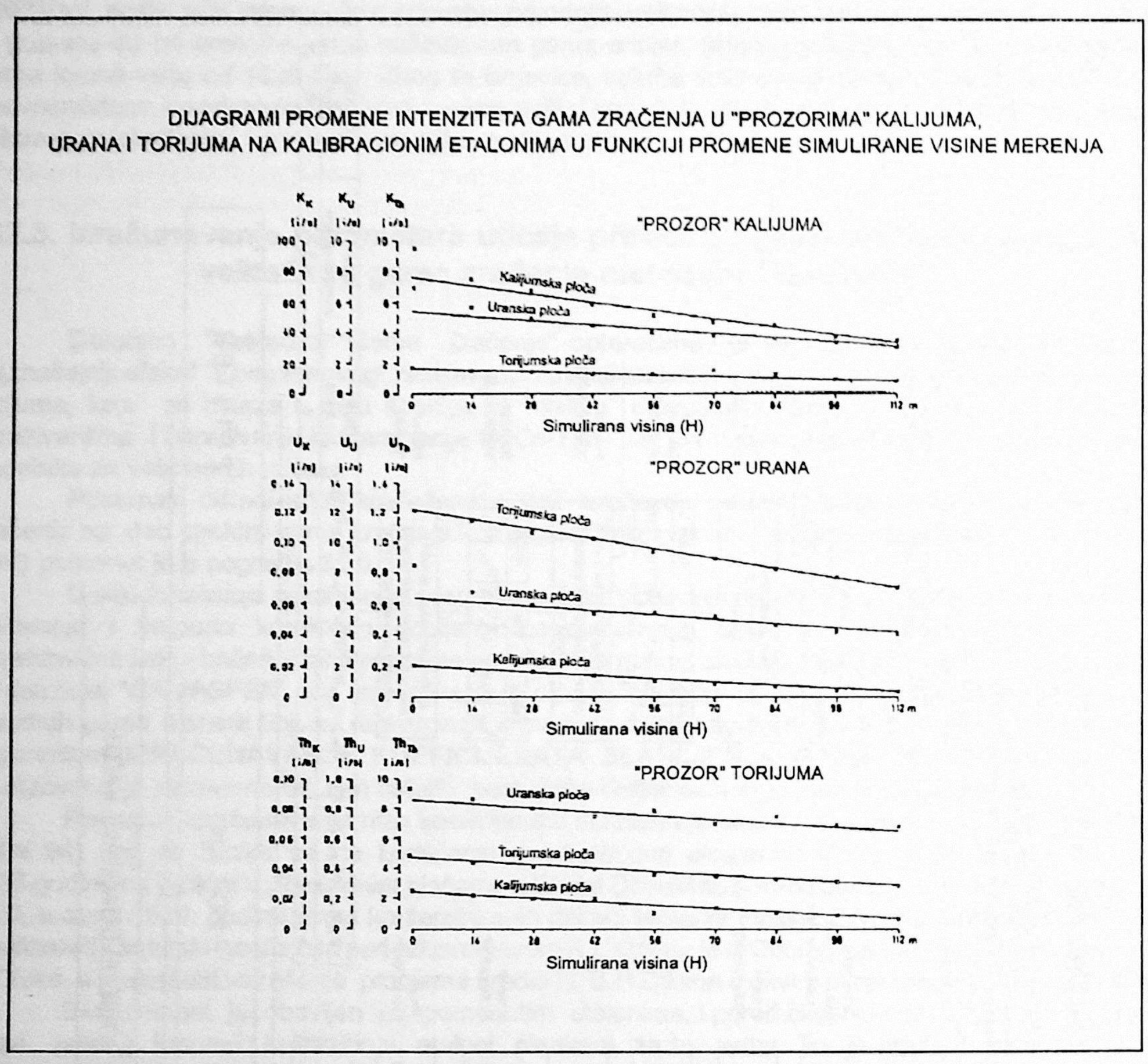
$3(K_{pr}+K_{sek})*K_{anom}$ (%)	$3(U_{pr}+U_{sek})*U_{anom}$ (ppm)	$3(Th_{pr}+Th_{sek})*Th_{anom}$ (ppm)	ZBIR (1 + 2 + 3)	Merene vrednosti spektra	RAZLIKA (5 - 4)	Datoteka "VESGAMZRA.DAT"
1	2	3	4	5	6	

DISK | PLOTER | PRINTER

TABELE, DIJAGRAMI, KARTE ...

Slika 94

grafici zavisnosti veličine sume registrovanih podataka gama zračenja u pomenutim "prozorima" od simulirane visine (Slika 95) sa kojih su očitane vrednosti gama zračenja za odabrane visine svođenja podataka, koje su prikazane u monografiji na Tabeli XXVI, a koji su korišćeni za formiranje matrica označenih formulama (59)-(67) i izračunvanje koeficijenata (a_1, a_2 i a_3), za svaki kanal spektra od 25. do 85. koji pokrivaju energije gama zračenja do 1000 KeV.



Slika 95

Matematički aparat kojim se izračunavaju koeficijenti uticaja kalijuma urana i torijuma u svakom od kanala od 25. do 85. nazvana je od strane autora R.L.Grasty-ja **TEHNIKA KORELACIJE**. Za izračunavanje koeficijenata uticaja (a_1, a_2 i a_3) uradili smo program u okviru algoritma "Uticaj" koji je nazvan **"KOEFICIJENTI"**.

Program "KOEFICIJENTI" koristi datoteke "DIGITALIZOVANI SPEKTRI", Tabele XXV, XXVI i XXVII (LIT. 40) i datoteku"SUMARNO ZRAČENJE U PROZORIMA" TABELA XXVI.

Rezultat rešavanja matrica dimenzija (3x3)*(3x1) formula (62) za svaku simuliranu "visinu" i svaki kanal, i energetski interval od 295 KeV do 1005 KeV sa inkrementom energija od 12,5 KeV, prikazani su Tabelom XXIX **(PRILOG 4)** (LIT. 40). Koeficijenti su izračunati samo za deo spektra gama zračenja koji je relevantan za analizu veštačkih izvora gama zračenja. Za svaku merenu vrednost

kanalima od 25 do 85 dobijaju se po tri koeficijenta (a_1, a_2 i a_3) koji predstavljaju faktor množenja podataka registrovanih u "prozorima" kalijuma, urana i torijuma. Dobijene vrednosti predstavljaju deo informacija iz "prozora" kalijuma, urana i torijuma koji se "preselio" u odgovarajući kanal svakog registrovanog spektra.

TABELA XXVI

TABELA SUMARNIH VREDNOSTI GAMA ZRAČENJA REGISTROVANIH IZNAD KALIBRACIONIH ETALONA U GRAND JUNCTION-u U "PROZORIMA"
CEZIJUMA-137, CEZIJUMA-134, KALIJUMA, URANA I TORIJUMA

KALIBRACIONI ETALON KALIJUMA									
VISINA (m)	0.0	14.0	28.0	42.0	56.0	70.0	84.0	98.0	112.0
IZOTOP									
Cs-137	37.20	33.80	31.40	29.80	27.60	24.90	23.00	21.10	19.30
Cs-134	20.00	18.20	17.40	15.70	14.80	13.10	12.00	11.00	10.30
K - 40	74.00	68.00	63.00	57.00	52.00	47.00	41.00	36.00	30.00
Bi-214	0.20	0.18	0.16	0.14	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02
Tl-208	0.22	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07
KALIBRACIONI ETALON URANA									
VISINA (m)	0.0	14.0	28.0	42.0	56.0	70.0	84.0	98.0	112.0
IZOTOP									
Cs-137a	20.39	16.38	13.71	12.42	10.77	9.98	8.85	7.88	6.92
Cs-134a	7.51	6.33	5.58	4.94	4.52	4.50	3.63	3.26	2.86
K - 40	5.70	5.30	4.90	4.50	4.10	3.70	3.40	3.00	2.60
Bi-214	6.60	6.20	5.90	5.60	5.30	4.90	4.60	4.30	4.00
Tl-208	0.82	0.80	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.66	0.64
KALIBRACIONI ETALON TORIJUMA									
VISINA (m)	0.0	14.0	28.0	42.0	56.0	70.0	84.0	98.0	112.0
IZOTOP									
Cs-137a	7.85	6.39	5.50	4.95	4.45	4.03	3.56	3.20	2.83
Cs-134a	3.73	3.08	2.73	2.46	2.20	1.97	1.77	1.56	1.39
K - 40	1.80	1.70	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00	0.90
Bi-214	1.18	1.12	1.04	1.00	0.95	0.87	0.80	0.72	0.68
Tl-208	4.40	4.20	4.00	3.80	3.60	3.40	3.20	3.00	2.80

Konstante dobijene programom "KOEFICIJENTI" **testirane su, u okviru KRUCIJALNOG** opita, prvo na jedno sekundnom zapisu anomalije 64 čiji je količnik TC/Th veći od 200 (Slika 96). On je registrovan u toku AGS ispitivanja dela TMK 1990. god., a zatim su primenjeni na svim registrovanim spektrima datoteke "GAMASPEK".

Datoteka izmerenih podataka od kojih je prethodno oduzeta osnovna radijacija u kanalima od 25 do 85 prikazana je TABELOM XXVII.

Programom **"UTICAJ.PGZ"** koji je urađen u cilju izračunavanja uticaja prirodnog gama zračenja (PGZ) testiran je preko podataka registrovanih u "prozorima" kalijuma (256 i/s), urana (37 i/s), i torijuma (17i/s) izmerene anomalije br. 64.

Izlazna datoteka nazvana **"IZLAZ.PGZ"** Tabela XXVIII pruža informaciju o uticaja PGZ na devet testiranih visina za svaki od 60 kanala (od 25. do 85. kanala). U radu je prikazan samo deo koji pokazuje uticaj prirodnih gama zračenja na visini od 112 m. Sledeća faza testiranja metodskog postupka otklanjanja uticaja podataka prirodnog gama zračenja svodi se na otklanjanje izračunatog uticaja PGZ (iz Tabele XXVIII) iz merenih vrednosti gama zračenja (iz Tabele XXVII) korišćenjem programa **"MILKE.VGZ"**. Dobijena razlika (Tabela XXIX) predstavlja veličinu gama zračenja čiji je uzročnik radioaktivan izotop veštačkog porekla.

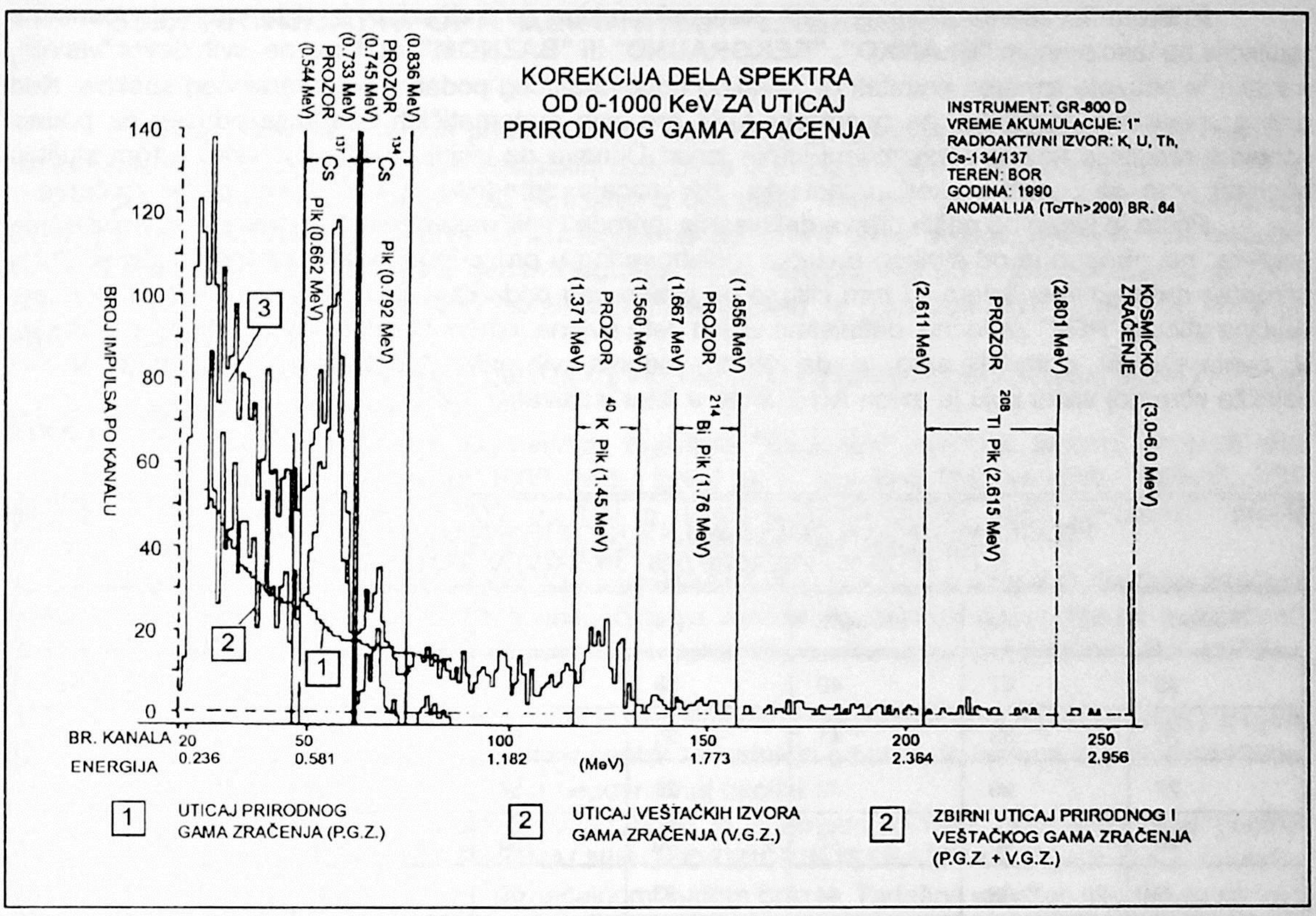
TABELA XXVII

PODACI IZMERENOG INTENZITETA GAMA ZRAČENJA ANOMALIJE BR.64. ZA DEO SPEKTRA "NISKIH" ENERGIJA OD 295 - 1005KeV							
KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)
25	138.	40	57.	55	116	70	15.
26	102.	41	58.	56	118.	71	17.
27	74.	42	47.	57	84.	72	13.
28	108.	43	57.	58	54.	73	11
29	82.	44	59.	59	48.	74	11.
30	80	45	43.	60	19.	75	11.
31	99.	46	59.	61	19.	76	13
32	70.	47	47	62	19.	77	14.
33	81.	48	53.	63	21.	78	14.
34	80.	49	54.	64	30.	79	17.
35	70.	50	64.	65	24.	80	12.
36	74.	51	67.	66	30.	81	14.
37	51.	52	82.	67	36.	82	10.
38	59	53	79	68	23	83	13.
39	82	54	98	69	16	84	12
						85	10.

Rezultat celokupnog postupka opisanog u ovom poglavlju nalazi se na slici 96 na kojoj su prikazani:

1. **"PGZ"** grafik krive uticaja prirodnog gama zračenja
2. **"VGZ"** grafik krive uticaja veštačkog gama zračenja
3. **"MGZ" = "PGZ" + "VGZ"** zbirni uticaj prirodnog i veštačkog gama zračenja, odnosno kriva merenog gama zračenja

Testiranje je obavljeno za deo spektra "niskih" energija koji je jedino značajan za ekološka proučavanja prisustva veštačkih izotopa. U sadašnjem vremenu jedini veštački radioaktivni izvori koji potiču od nuklearnih fisionih procesa iz Černobilja su Cs-137 i Cs-134 zbog čega smo se zadržali na njihovom proučavanju.



Slika 96

TABELA XXVIII

VELIČINA UTICAJA PRIRODNOG GAMA ZRAČENJA REGISTROVANOG U KANALIMA OD 25 DO 85 - ENERGIJE (295 - 1005 KeV) ANOMALIJE BR 64

KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)
25	51	40	29	55	19	70	15
26	49	41	28	56	18	71	14
27	48	42	27	57	18	72	14
28	45	43	27	58	17	73	14
29	43	44	26	59	17	74	14
30	41	45	26	60	17	75	14
31	39	46	25	61	16	76	14
32	37	47	25	62	17	77	14
33	35	48	26	63	16	78	13
34	34	49	26	64	16	79	13
35	33	50	25	65	15	80	13
36	32	51	24	66	15	81	12
37	31	52	22	67	16	82	12
38	30	53	21	68	15	83	13
39	29	54	20	69	15	84	13
						85	12

Prilikom izvođenja eksperimenta kanadska ekipa je prethodno izvršila merenja osnovne radijacije na takozvanom **"BLANKO", "BEKGRAUND" ili "BAZNOM"** etalonu na svih devet "visina", a zatim je oduzela izmeren podatak od svakog odgovarajućeg podatka odgovarajućeg spektra. Kod našeg testiranja podataka, za anomaliju A-64 pre svih matematičkih operacija oduzeti su podaci osnovne radijacije koji su registrovani letom iznad Dunava na visini od 50 m. Dakle, u tom slučaju operisali smo sa podatkom koji predstavlja zbir uticaja prirodnog i veštačkog gama zračenja.

Pošto je jedan od naših ciljeva definisanje prirode i veličine aktivnosti veštačkih izotopa gama emitera neophodno je od svakog podatka registrovanog u prozorima "niskih" energija oduzeti uticaj prirodnih radioaktivnih izvora. U tom cilju je od izmerenog podatka u kanalima od 25 do 85 oduzeta veličina uticaja "PGZ" za tačno definisanu visinu leta aviona, odnosno za visinu svođenja podataka. U ovom slučaju opredelili smo se da visina svođenja svih naših podataka bude 112 m jer je ona najbliža stvarnoj visini koju je avion AN-2 imao u toku ispitivanja TMK.

TABELA XXIX

VELIČINA VEŠTAČKOG GAMA ZRAČENJA REGISTROVANOG U KANALIMA
OD 25 DO 85 - ENERGIJE (295 - 1005 KeV) ANOMALIJE BR 64

KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)	KANAL	(i/s)
25	87	40	28	55	97	70	0
26	53	41	30	56	100	71	3
27	26	42	20	57	66	72	-1
28	63	43	30	58	37	73	-3
29	39	44	33	59	31	74	-3
30	44	45	17	60	2	75	-3
31	60	46	34	61	3	76	-1
32	33	47	22	62	2	77	0
33	46	48	27	63	5	78	1
34	46	49	28	64	14	79	4
35	37	50	39	65	9	80	-1
36	42	51	43	66	15	81	2
37	20	52	60	67	20	82	-2
38	29	53	58	68	6	83	0
39	53	54	78	69	1	84	-1
						85	-2

Program nazvan **"MILKEVGZ"** omogućio je izračunavanje veličine gama zračenja veštačkog porekla. Na TABELI XXIX prikazane su vrednosti intenziteta gama zračenja veštačkog porekla koje bi bile registrovane u svakom kanalu spektra gama zračenja na anomaliji 64.

Ovako koncipiran postupak zahteva prethodno dovođenje izmerenog podatka na onaj nivo za koji želimo da upotrebimo konstante. U tom slučaju koriste se formule tako što se svaki kanal svakog registrovanog spektra koriguje za odabranu visinu svođenja podataka. Drugi način realizacije opisanog postupka zahteva matematičku interpolaciju konstanti prikazanih u TABELI XXVII.

33.0. KRUCIJALNI OPIT ALGORITMA "EKOLOGIJA"

Projekat razvoja metode primene AGS ispitivanja pri određivanju lokacije, vrste i veličine kontaminacije teritorije neke države veštačkim izotopima fisionog porekla razrađen je prema algoritmu "Ekologija". Planiran je kao celina koja se sastoji iz dva dela. Prvi deo urađen je u formi teoretskog proučavanja, koncipiranja, planiranja i izrade algoritma po kojem bi se organizovala primene metode. To je obrađeno u prethodnom delu ove monografije. Drugi deo projekta predstavlja praktičnu proveru svih planiranih postupaka primene kontrole radioaktivnosti iz vazduha izvođenjem takozvanog **KRUCIJALNOG OPITA**.

Pre svih terenskih radova u geofizičkoj laboratoriji je dizajniran slog podataka dužine 751 bajt koji se registruje u digitalnom obliku.

Provera korektnosti svih segmenata algoritma "Ekologija" izvedena je kroz terenski deo radova koji je realizovan u avgustu 1990. god, iznad dela površine TMK veličine 200km². AGS ispitivanja izvedena sa visine od 100 do 150 m iznad površine terena, duž paralelnih profila ukupne dužine 1000km, sa međuprofilskim rastojanjem od 250 m (slika 97).

U cilju kompletne provere algoritma sa ispitivane teritorije uzeti su uzorci tla za laboratorijska radiometrijska ispitivanja čiji su rezultati iskorišćeni za određivanje faktora konverzije pri kvalitativnoj analizi podataka ispitianja. Obrada registrovanih podataka izvršena je računarom VAX-11/751 i personalnim računarom PC-386.

Za izvođenje Krucijalnog opita izabran je deo Timočkog magmatskog kompleksa (TMK) u čijem se centru nalazi grad Bor, poznat industrijski centar sa rudnicima bakra, flotacijom, topionicama rude, odlagalištima rude i deponijama jalovine u neposrednoj okolini.

Površina koja je ispitana u okviru opita takođe je, u periodu od 1982. godine do 1988. godine, ispitivana metodom AGS u okviru **REGIONALNIH GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA,** a u cilju pronalaženja novih rudnih polja sa ekonomski značajnom rudom bakra. Tadašnji rezultati ukazali su na veći broj anomalija radioaktivnog gama zračenja koje su posledica hidrotermalnih procesa i kalijumsko-metasomatskih izmena stena, a koji su osnovni indikatori mineralizacije bakra kod porfirskih ležišta bakra TMK.

U toku tih ispitivanja istraživači nisu obratili pažnju na moguće ekološke aspekte analize rezultata ispitivanja prirodne radioaktivnosti, zbog čega je bilo izazovno analizirati nove rezultate sa te tačke gladišta.

U periodu 1982 - 1988. ispitivanja su organizovana tako da je registrovanje vršeno u četiri "prozora" (kalijuma, urana, torijuma i ukupnog gama zračenja). Zbog toga i nije bilo moguće analizirati područje spektra u kojem se registruje veštačko gama zračenje, osim u okviru "prozora" ukupnog gama zračenja, što u to vreme i na tadašnjem nivou saznanja nije bilo dovoljno za analizu veštačkih izvora gama zračenja. To je bio jedan od razloga zbog kojih je odlučeno da se AGS ispitivanja, sa registrovanjem spektra gama zračenja iskoriste za relizaciju krucijalnog opita algoritma "Ekologija".

Ispitivana površina postala je interesantna posle niza veoma kontroverzniih napisa u štampi o navodnom dugogodišnjem spaljivanju radioaktivnog otpada u topionici bakra u Boru. U optužbama išlo se dotle da se čak tvrdilo da je radioaktivni materijal bio pomešan sa uvezenom rudom bakra.

Prema tome, moglo se očekivati da je planirana površina kontaminirana radioaktivnim izvorima veštačkog porekla. Posebno je bilo realno očekivati, ako bi tvrdnja o spaljivanju radioaktivnog otpada bila tačna, anomalije sadržaja Cs-137 i Cs-134 na većoj površini. To bi omogućilo proveru dela algoritma koji je planiran za određivanje veličine takozvane **površinske** kontaminacije tla.

Za razvijanje segmenta algoritma koji određuje položaj i vrstu **"tačkastih"** - pojedinačnih izvora gama zračenja iskorišćeni su gromobrani sa ugrađenim radioaktivnim izotopom Eu-152/154, kojih u Boru i njegovoj okolini ima neopravdano mnogo.

Drugi značajan razlog zbog kojeg je odlučeno da se algoritam testira baš iznad TMK bila je havarija nuklearne elektrane u Černobilju. Ona je značajno uticala na kontaminaciju tla cele Jugoslavije. U vezi sa tim očekivalo se, zbog meteoroloških karakteristika ovog dela Srbije, da je u periodu april

- jun 1986. god. došlo do velike kotaminacije istočne Srbije preko tečnog taloga, a samim tim i do kontaminacije površine planirane za opit. AGS ispitivanja su realizovana vizuelnom navigacijom uz korišćenje karte razmere 1:25000 po profilima sa azimutom 45^0-225^0 (slika 97). Aerodrom "Bor" je bio baza sa koje su izvršena sva ispitivanja.

Prethodno su izvršena ispitivanja radioaktivnosti duž više profila u cilju prikupljanja informacija o nivou prirodne i veštačke radioaktivnosti, koje su iskorišćene za određivanje faktora konverzije izmerenih podataka intenziteta gama zračenja u deponovanu aktivnost-veštačkih izotopa ili koncentraciju prirodnih radioaktivnih elemenata.

Ispitivane su površine za koje smo već znali da poseduju određen, visok ili nizak, nivo prirodne radioaktivnosti i one površine za koje smo pretpostavili da poseduju povećan intenzitet gama zračenja prirodog ili veštačkog porekla. Kontrolna ispitivanja obavljena su duž profila u okolini Valjeva (Divci), okolini Uba (sela Kalenić i Bivoljača) na Planini Bukulji (lokalnost - Paun Stena) i okolini Bora. Istovremeno je planirano i realizovano uzimanje uzoraka.

Analize uzoraka izvršene su u Institutu "Dr Dragomir Karajović" u Beoradu, ovlašćenoj ustanovi za ovu vrstu poslova.

Pri analizi podataka krucijalnog opita korišćeni su zvanični meteorološki podaci o vremenskoj situaciji za period april, maj i juni 1986. godine, za meteorološke stanice: Crni Vrh, Brestovačka Banja i Bor, koje smo dobili od Republičkog hidrometeorološkog zavoda iz Beograda.

33.1. Rezultati krucijalnog opita algoritma "EKOLOGIJA"

Rezultati ispitivanja biće prikazani kroz analizu datoteke **"Veštačko gama zračenje"** (VGZ), koja je izvedena iz datoteke "GAMASPEK".

Prvi korak u analizi podataka datoteke VGZ bio je određivanje "tačkastih" anomalija gama zračenja i formiranje datoteke količnika intenziteta: **ukupnog gama zračenja i torijum - (TC/Th)**. Određena je srednja vrednost količnika (TC/Th=50). Ova srednja vrednost, u stvari, reprezentuje deo terena jugoistočno od Bora za koji je utvrđeno da je manje kontaminiran veštačkim radioaktivnim izotopima. To je određeno na osnovi karata deponovane aktivnosti Cs-137 i Cs-134. Ona je prihvaćena kao reperna vrednost količnika (TC/Th) u daljoj analizi. Prethodnim opitima utvrđeno je da je za određivanje položaja tačkastih radioaktivnih izvora gama zračenja veštačkog porekla u našim uslovima najpogodniji količnik TC/Th. Osnovni razlog zbog kojeg nije bilo moguće koristiti količnik N/V, kao što je u svetu prihvaćeno, jeste postojanje velikog broja radioaktivnih gromobrana sa smešom europijuma-152/154 koja se karakteriše velikim brojem energetskih linija u energetskom opsegu od 0,344 KeV do 1408 KeV potpuno remete zakonitost koja je utvrđena za količnik N/V.

Kao prvi korak pri realizaciji obrade i prikaza podataka nacrtani su **dijagrami količnika TC/Th (slika 92a i 92b)** po profilima ispitivanja, od 1. do 82. profila. Na dijagramima TC/Th dobijene su "tačkaste" anomalije količnika na profilima: 26; 31; 35; 36; 38; 39; 40; 46; 47; 48 i 65. One su izazvane veštačkim izvorima gama zračenja. Anomalije količnika TC/Th preko 200 jasno ukazuju na položaj uzročnika na profilu ispitivanja i intenzitet gama emitera. Ovaj prvi prikaz informacija daje samo grubu sliku o položaju anomalija. On nas može zavarati i, ako se samo na njemu zadržimo, odvesti do pogrešnih zaključaka. Da bismo u analizi išli do kraja, pristupilo se i izradi karte sa položajem "tačkastih" anomalijama TC/Th. Zbog velikog intenziteta ukupnog gama zračenja (i do 30000 i/s) registrovanog iznad gromobrana, uz istovremen nizak intenzitet gama zračenja torijuma, količnik TC/Th dobija vrednost i preko 600 zbog čega je odlučeno da se u prvom pokušaju izrade karte položaja anomalija izdvoje samo anomalije TC/Th veće od 200 (slika 98), kojih smo dobili tačno 72.

Odmah je uočeno da je došlo do izvesnog grupisanja anomalija TC/Th oko industrijskog i stambenog dela Bora. Grupisanje anomalija je pripisano uticaju gromobrana. Za ostale pojedinačne anomalije u prvi mah nije bio jasan uzročnik.

Da bi se razjasnilo koji su uzročnici 72 anomalije i koji su radioaktivni izvori ugrađeni u gromobrane, a koji je veštački izvor izazvao, ostale pojedinačne anomalije, urađeni su grafici spektara

gama zračenja za svaku utvrđenu anomaliju. Postupak je definisan algoritmom "Ekologija", a realizovan je vraćanjem u datoteku "GAMASPEK" uz korišćenje pomoćnih parametara (broj zapisa i sl). Pozivani su pojedinačni spektri koji su odgovarali anomalijama TC/Th.

Za sve anomalije koje su bile grupisane oko nekoliko "tačkastih" radioaktivnih izvora u okolini Bora, a to su anomalije: (1-4); (5-7); (10-12); (14-16); (17-20); (21-27);(29-33); (34-38); (39-40); (46-50); (51-55) i (66-68), dobijen je izgled spektra koji jednoznačno pokazuje da je uzročnik anomalije veštački radioaktivan izotop europijum-152/154 čiji se energetski pikovi potpuno poklapaju sa projektovanim energetskim linijama na 344; 779; 967; 1086; 1299; i 1408KeV.

Svi ostali spektri koji su urađeni za pojedinačne anomalije kod kojih je dobijen količnik TC/Th veći od 200 imali su oblik grafika dobijenog za anomaliju TC/Th Br=(64) koji je prikazan na slici 96 kao tipičan primer izgleda spektra.

Na slici 96. jasno se izdvajaju dva pika od kojih se veći poklapa sa energetskom linijom cezijuma-137 na 662 KeV, a drugi, manji, sa energetskom linijom cezijuma-134 na 792 KeV.

Na osnovi dobijenih rezultata zaključeno je da se deo ispitivane teritorije karakteriše sa tri uzročnika gama zračenja veštačkog porekla od kojih je prvi karaktera "tačkastog" izvora. To je **europijum-152/154**, dok su drugi i treći kontaminirali određenu površinu ispitivane teritorije. To su **cezijum-137 i cezijum-134**. Koje je veličine kontaminirana površina? Na ovom koraku analize podataka nismo u mogućnosti da odredimo.

Ovde je izvučen zaključak da smo, određivanjem visokog "praga" anomalije TC/Th veće od 200, izgubili gotovo sve anomalije površinskog karaktera veštačkog uzročnika. To je bio razlog da se uradi nova karta **položaja "tačkastih" anomalija količnika TC/Th veće od 100 (Slika 99)** kojih je, na naše iznenađenje, bilo čak 293.

Karta anomalija TC/Th veće od 100 pokazuje novu sliku kontaminacije ispitivanog terena i određenu zakonitost grupisanja anomalija čiji su uzročnici Cs-137 i Cs-134.

Na opisan način određen je, na kvalitativnom nivou, veliki broj pojedijačnih anomalija gama zračenja, njihov položaj na ispitivanom terenu i priroda uzročnika anomalija.

Drugi korak u analizi podataka AGS ispitivanja bio je formiranje datoteka **količnika "niskih" i "visokih" energija** spektra gama zračenja (N/V) i datoteka intenziteta gama zračenja registrovanog u prozorima Cs-137 i Cs-134.

Ova faza analize predstavlja nadgradnju prethodno utvrđenih činjenica i omogućava precizno određivanje površine koja je kontaminirana veštačkim izotopima gama emiterima, a zatim i veličine te kontaminacije. Određivanjem količnika N/V (slika 100) utvrđena je površinska kontaminacija ispitivanog terena. Osnovni princip primene ovog količnika zasniva se na teorijski utvrđenoj i praktično dokazanoj zakonitosti postojanja konstantne vrednosti količnika N/V kod spektara gama zračenja sa prirodnim uzročnicima. Vrednost N/V u tom slučaju kreće oko broja **3.3**. Svako pojavljivanje veštačkih izvora gama zračenja remeti taj odnos i povećava ga do broja 10, pa i više, što zavisi od količine i aktivnosti materijala koji je kontaminirao određenu površinu.

Na karti količnika N/V jasno je definisana površina koja je kontaminirana veštačkim radioaktivnim izotopima. Izolinije koje odvajaju površinu sa količnikom TC/Th većim od 3,25 jasno ukazuju da je severozapadni deo ispitivane površine kontaminiran radioaktivnim izvorima veštačkog porekla. Granica kontaminacije ide istočno od Brestovačke banje prema samoj Brestovačkoj banji, gradu Boru i preko Krivelja na sever - severozapad.

Na slici 100 uočava se jedan minimum količnika N/V u okolini Borskog jezera koji je posledica smanjenja gama zračenja vodom. Veličina minimuma je posledica nivoa vode u jezeru. Izradom karte količnika N/V utvrđena je veličina kontaminirane površine.

Ostaje još da se odredi veličina kontaminacije, odnosno odredi količina radioaktivnog taloga, tj. izvrši kvalitativna analiza obrađenih podataka.

Prethodno je urađen programski korak projektovan algoritmom "Ekologija" koji je definisao izdvajanje podataka registrovanih u "prozorima" Cs-137 i Cs-134. Podaci koji su tako izdvojeni predstavljali su intenzitet registrovanog gama zračenja izraženog u broju impulsa, odnosno udara gama fotona u telo kristala u jedinici vremena (i/s). Podaci intenziteta gama zračenja Cs-137 i Cs-134 ovako pripremljeni opterećeni su uticajem prirodnih izvora gama zračenja.Zbog toga je urađeno razdvajanje podataka prirodnog i veštačkog porekla, po algoritmu koji je prikazan slikom 101.

Osnovu postupka odvajanja uticaja prirodnih izvora gama zračenja čini ranije opisana tehnika korelacije. Algoritmom je definisan neophodan minimum ulaznih podataka. Pošlo se od korišćenja registrovanog spektra gama zračenja koji je prvo korigovan za uticaj osnovnog gama zračenja a zatim normalizovan na nivo 112 m za koji su prethodno izračunati koeficijenati a_1, a_2 i a_3. Korišćenjem koeficijenata izračunat je uticaj prirodnih izvora gama zračenja **"PGZ"** za kanale spektra od 25. do 85. koji "pokrivaju" "prozore" Cs-137 i Cs-134.

Uticaj veštačkih izvora gama zračenja **"VGZ"** u svakom kanalu određen je kao razlika merenih vrednosti, svedenih na nivo 112 m i izračunatih vrednosti uticaja prirodnih izvora gama zračenja za nivo 112 m za iste kanale (od 25. do 85.). U daljem postupku izvršena je integracija podataka unutar "prozora" Cs-137 i Cs-134. Na kraju je izračunat novi količnik Cs-137/ Cs-134.

Da bismo racionalno koristili i podatke i računarsko vreme, određene su srednje vrednosti izmerenih podataka. Srednje vrednosti izračunavaju se za jedinicu dužine profila ispitivanja u razmeri karte. Rastojanje naših profila ispitivanja na terenu bilo je 250m. Prilikom obrade podataka ispitivanja sa ciljem njihovog prikaza u razmeri 1:100 000, izračunavaju se srednje vrednosti podataka duž profila za svakih 250 metara. To na karti iznosi (2,5mm), što se jasno uočava na slici 97. Završna datoteka **"SREDNJA VREDNOST"** koristi se za kompjutersku interpolaciju i izradu odgovarajućih karata.

Pošto bi rad sa podacima iz datoteke"Srednja vrednost" i dalje bio na kvalitativnom nivou i ne bi dao informaciju i odgovor na pitanje: **kolika je aktivnost deponovanih veštačkih izvora gama zračenja koji su kontaminirali određenu površinu** neophodno je oderditi faktore konverzije podatka intenziteta gama zračenja u podatak deponovane aktivnosti Cs-137 i Cs-134 i koncentraciju K; U i Th u tlu. Zbog te činjenice pristupilo se realizovanju programskog koraka nazvanog: *Izračunavanje formule za konverziju podataka iz (i/s) u (Bq/m²)*.

Algoritmom "Ekologija" projektovano je formiranje datoteka sa podacima registrovanim u "prozorima "Cs-137 i Cs-134, K-40, Bi-214 i Tl-208 koje su iskorišćene za određivanje faktora konverzije podatka. Faktori konverzije podataka određeni su konstrukcijom dijagrama konverzije podataka AGS ispitivanja. Oni su određeni korišćenjm korigovanih merenih podataka i rezulta analiza uzoraka. Uzorci su analizirani na sadržaj prirodnih i veštačkih radioaktivnih izotopa u radiometrijskoj laboratoriji Instituta za medicinu rada "Dr Dragomir Karajović" u Beogradu, Tabela XXX.

Dijagrami faktora konverzije izmerenih podataka u odgovarajuće deponovane aktivnosti urađeni su tako da su po apcisi nanete vrednosti registrovanog intenzitetma zračenja Cs-137 i Cs-134, normalizovanih na nivo 112 m iznad površine tla, a po ordinati vrednosti deponovane aktivnosti Cs-137 i Cs-134. Primenom kompjuterskog programa korišćenjem teorije najmanjih kvadrata izračunati su njihovi analitički izrazi.

Jedna od glavnih pretpostavki primene metode AGS ispitivanja je činjenica da postoji linearna veza između deponovane aktivnosti Cs-137 i Cs-134, koncentracije K-40, U-238 i Tl-232 u tlu i broja registrovanih impulsa u njihovim "kanalima" i "prozorima". Zbog toga, nije teško odrediti analitički izraz prave koja izražava uzajamnu vezu. Po opisanom postupku izračunati su analitički izrazi za konverziju (y=9.297x - 10) za podatak Cs-137 i za podatak Cs-134 (y=4.72x - 3), koji su omogućili uspešnu konverziju podataka i dobijanje karata koje odražavaju rezultate KVANTITATIVNE analize podataka AGS ispitivanja (slike 102 i 103).

Karta deponovane aktivnosti Cs-137 (slika 102) odražava činjenicu da je veliki deo ispitivane površine (oko 100 km²) kontaminiran, pretežno cezijumom-137. Veličina anomalijske deponovane aktivnosti varira od 1500 Bq/m² do 3000 Bq/m². Kontaminirana površina zahvata deo ispitivane površine koji se nalazi SZ od Bora i pruža se ka Crnom Vrhu. Granica Brestovačka Banja-Bor-Krivelj jasno odvaja jugoistočni deo ispitivanog terena sa nižim nivoom deponovane aktivnosti sa vrednostima i ispod 500 Bq/m².

TABELA XXX

Kontrolni profil: "BOR"	REZULTATI ANALIZA UZORKA TLA						
OZNAKA UZORKA	K-40 (ppm)	eU-238 (ppm)	eTh-232 (ppm)	Cs-137 (Bq/m2)	Cs-134 (Bq/m2)	koordinate	
						x	y
Bo-1	1.48	1.6	6	286.3	35.8	7586.3	4874.71
Bo-2	1.34	3.3	4.8	1262.2	210.3	7586.38	4879.09
Bo-3	1.4	2.2	3.1	431.2	30.8	7584.45	4880.1
Bo-4	0.71	2	3.1	5011.6	715.9	7580.64	4883.43
Bo-5	1.76	6.5	2.4	7820	977.5	7580.39	4886.38
Bo-6	1.09	3.2	3.8	3512	439	7588.05	4878.29
Bo-7	1.35	1.6	6.3	1846	230.7	7588.24	4880.62
Bo-8	1.35	4.8	6	3886	485.7	7587.89	4882.12
Bo-9	1.1	4.6	4.1	1710	208.5	7588.09	4885.28
Bo-10	1.16	1.6	2.2	414	38.7	7588.14	4887.48
Bo-11	1.29	3.2	4.1	1078	149.7	7590.59	4884.77
Bo-13	0.97	1.8	3.1	820	117.1	7597.09	4876.79
Bo-14	1.1	3.2	3.7	2115	248.8	7592.71	4878.28
Bo-15	1.52	4.3	11.1	360	45	7591.3	4875.69

kontrolni profil: "BUKULJA"							
OZNAKA UZORKA	K-40 (ppm)	eU-238 (ppm)	eTh-232 (ppm)	Cs-137 (Bq/m2)	Cs-134 (Bq/m2)	koordinate	
						x	y
Bu-01	2.44	3.6	14.8	1550	193.7	7453.98	4904.75
Bu-02	3.46	3.6	15	960	111.6	7457.41	4904.75
Bu-03	4.03	7.7	26.6	3427	417.9	7458.16	4904.74
Bu-04	2.83	3.5	10.4	4081.2	416.4	7462.11	4904.75
Bu-05	2.42	2.8	16.3	1239.3	140.8	7456.95	4906.49
Bu-06	2.01	9.8	7	1242.7	197.2	7455.32	4906.49

kontrolni profil: "KALENIĆ"							
OZNAKA UZORKA	K-40 (ppm)	eU-238 (ppm)	eTh-232 (ppm)	Cs-137 (Bq/m2)	Cs-134 (Bq/m2)	koordinate	
						x	y
K-01	1.46	4.5	12	1172.3	158.4	7436.99	4925.38
K-02	1.89	5.6	10.1	1081.2	116.2	7436.97	4927.76
K-03	2.63	2.4	12.4	672	69.2	7436.98	4929.5
K-04	3.05	6.2	16.1	783.7	95.5	7436.96	4931.25

kontrolni profil:"BIVOLJAČA"							
OZNAKA UZORKA	K-40 (ppm)	eU-238 (ppm)	eTh-232 (ppm)	Cs-137 (Bq/m2)	Cs-134 (Bq/m2)	koordinate	
						x	y
Bi-01	1.18	4.2	9.7	1593.1	187.4	7425.05	4939.57
Bi-02	2.18	3.8	14.6	2480	354.2	7425.06	4941.16
Bi-03	1.69	4.5	12.5	484.6	55.7	7425.04	4943.94
Bi-04	2.04	1.5	12.1	1251.3	14.7	7425.02	4945.44
Bi-05	1.21	6.9	19.2	12.5		7425.26	4942.37

kontrolni profil: "VALJEVO"							
OZNAKA UZORKA	K-40 (ppm)	eU-238 (ppm)	eTh-232 (ppm)	Cs-137 (Bq/m2)	Cs-134 (Bq/m2)	koordinate	
						x	y
V-01	1.44	6.1	13	870	108.7	7422.12	4906.24
V-02	1.4	3.7	10.4	1107.5	158.2	7413.1	4904.3
V-03	1.77	1.5	9.2	1300.5	162.5	7411.4	4903.65
V-04	1.05	2.3	3	762.7	84.7	7415.41	4901.19
V-05	0.99	3.9	11.6	418.9	87.2	7415.35	4905.8
(Mr G. Pantić, Mr Lj.Mijatović, Institut"Dr Dragomir Karajović", 1990.)							

Karta deponovane aktivnosti cezijuma-134 (slika 103) odražava i do osam puta manje prisustvo Cs-134 na ispitivanoj površini. Neznatno povišena deponovana aktivnosti od 200 do preko 350Bq/m^2 takođe zahvata istu kontaminiranu površinu od oko 100 km^2. To ukazuje da je kontaminacija ove površine izvršena istovremeno i da potiče iz istog izvora.

Količnik intenziteta gama zračenja Cs-137/Cs-134 kreće se od 6-8 (slika 104) ukazuje da se radioaktivno gorivo, koje je moglo biti izvor, u trenutku kontaminacije karakterisalo količnikom **Cs137/ Cs-134 od (1,7 : 1) do (2 : 1) (slika 105)**.

Na slici 105 prikazane su tri tabele koje pokazuju koliki bi količnik Cs137/Cs134 morao biti četri godine posle kontaminacije neke teritorije radioaktivnim materijalom, čije bi poreklo bilo iz nekog nuklearnog reaktora, a što zavisi od stepena iskorišćenosti goriva. Na tabeli (A) prikazani su količnici izračunati na bazi početnog količnika **Cs137/Cs134=2** koje treba očekivati u okolini Bora (**prema rezultatima analiza Instituta "Dr Dragomir Karajović"**). Vidi se da posle dva perioda poluraspada Cs-134 (T=2 god), odnosno 4 godine količnik dobija vrednost (7,2).

Iz literature saznajemo da su stručnjaci U Švedskoj odredili početni odnos radioaktivnog **Cs-137/Cs-134=1,7** Tabela (B). Ovaj odnos daje posle četri godine količnik deponovanih aktivnosti Cs137/Cs134=**6,12**. Treća Tabela (C), pripremljena je u cilju razmatranja moguće kontaminacije neke površine potpuno iskorišćenim radioaktivnim gorivom, iz tipa reaktora identičnog onom koji je eksplodirao u Černobilju. U tom slučaju količnik **Cs-137/Cs-134 = 1**. To znači da se u procesu nuklearne fisije stvorila ista količina Cs-137 i Cs-134.

Četri godine posle kontaminacije tla takvim gorivom količnik Cs137/Cs134 dostići će vrednost (3,6), slika 105.

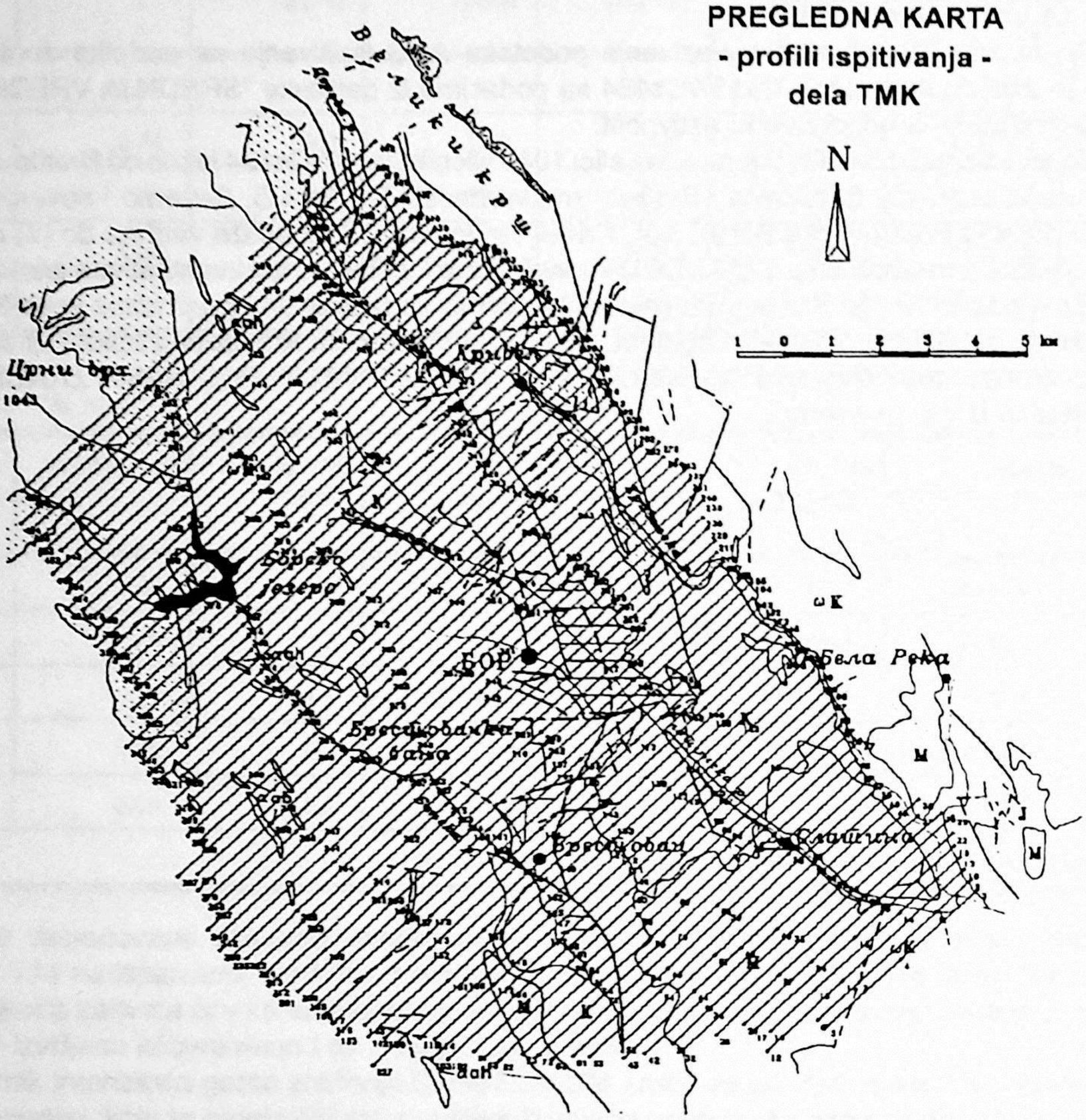
Ova razmatranja ukazuju na mogućnost određivanja vrste materijala koji je kontaminirao neku površinu i vreme koje je proteklo od kontaminacije. To dalje znači da je moguće utvrditi, onda kad se opravdano sumnja na verovatan izvor kontaminacije i određenu vrstu reaktora, odnosno da je kontaminacija izvršena spaljivanjem radioaktivnog otpada pomešanog sa uvezenom rudom kao što se sumnjalo za topionicu rudnika Bor.

Da bi smo izbegli zamku vezivanja podataka AGS ispitivanja za podatke analiza uzoraka potrebno je izračunati količnik Cs137/Cs134 sa podacima iz datoteke "SREDNJA VREDNOST", pre konverzije podataka u deponovanu aktivnost.

To je urađeno u našem primeru. Na slici 104 količnik Cs137/Cs134 južno od Brestovačke Banje, Bora i Krivelja, u pravcu Brestovca i Slatine, ima vrednosti TC/Th=4-5. Severno i severozapadno od pomenute granice Brestovačka Banja, Bor, Krivelj vrednost TC/Th dostiže veličinu do (7) do (9).

Izradom karte količnika Cs137/Cs134 završena je kvalitativana i kvantitativna analiza podataka AGS ispitivanja sa tačke gledišta proučavanja kontaminacije tla radioaktivnim izotopima veštačkog porekla. Na ovaj način, uspešno je završen segment realizacije prvog dela Krucijalnog opita koji se odnosi na proveru dela algoritma "Ekologija" koji se odnosi na datoteku "VEŠTAČKO GAMA ZRAČENJE" i sve ostale datoteke iz nje izvedene.

PREGLEDNA KARTA
- profili ispitivanja -
dela TMK



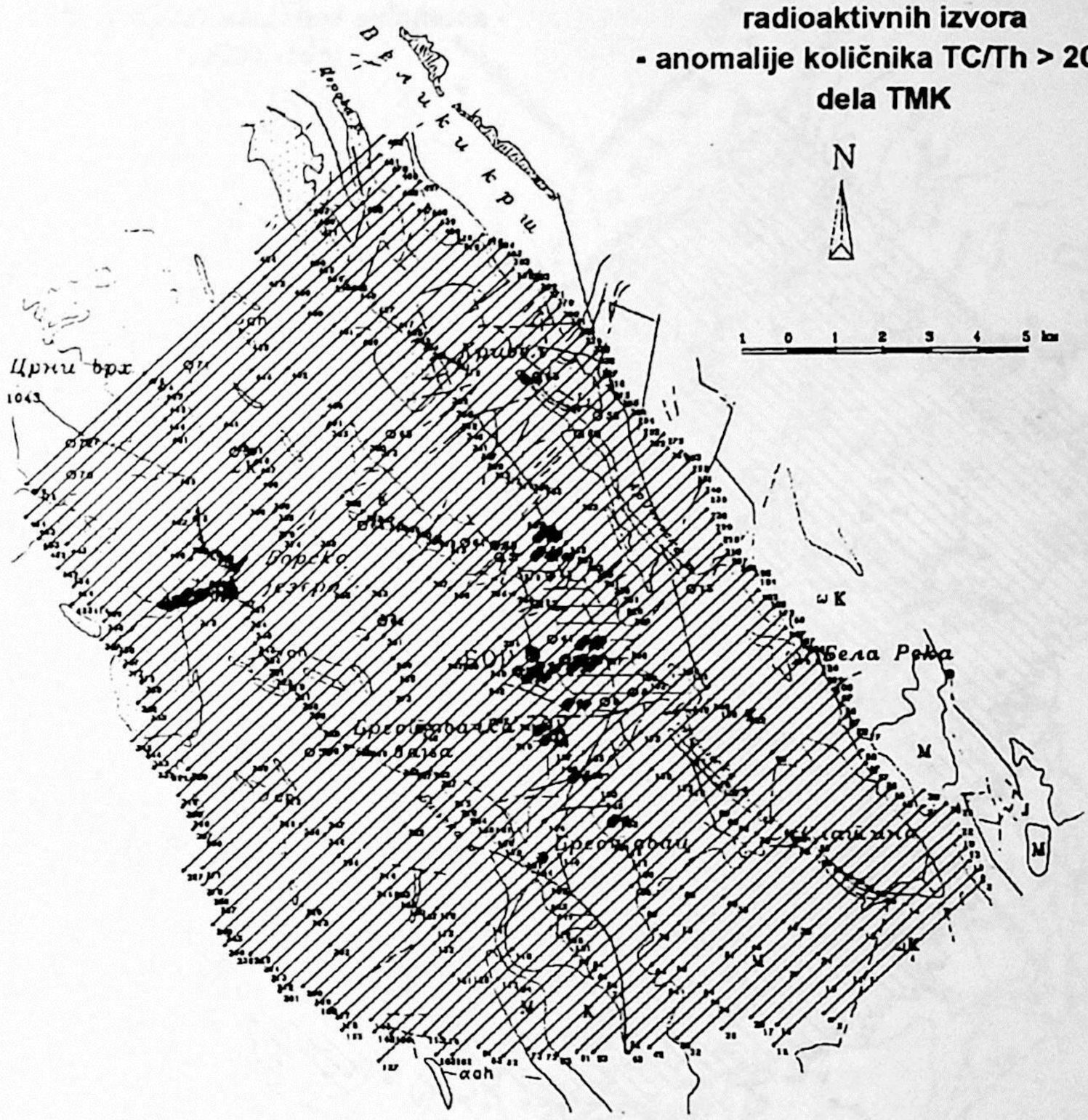
Legenda:

M	Miocen-peskovi, šljunkovi krečnjaci i gline
	Hidrotermalno izmenjene stene
αah	Gornjokredne formacije
K	Konglomerati, peščari i laporci
ωK	Aglomerati i breče andezita i dacita
J	Slojeviti i bankoviti krečnjaci i dolomiti
	Jalovište

5 FOTO SNIMAK
4
PROFIL ISPITIVANJA
3

Slika 97

KARTA
položaja veštačkih "tačkastih"
radioaktivnih izvora
- anomalije količnika TC/Th > 200 -
dela TMK



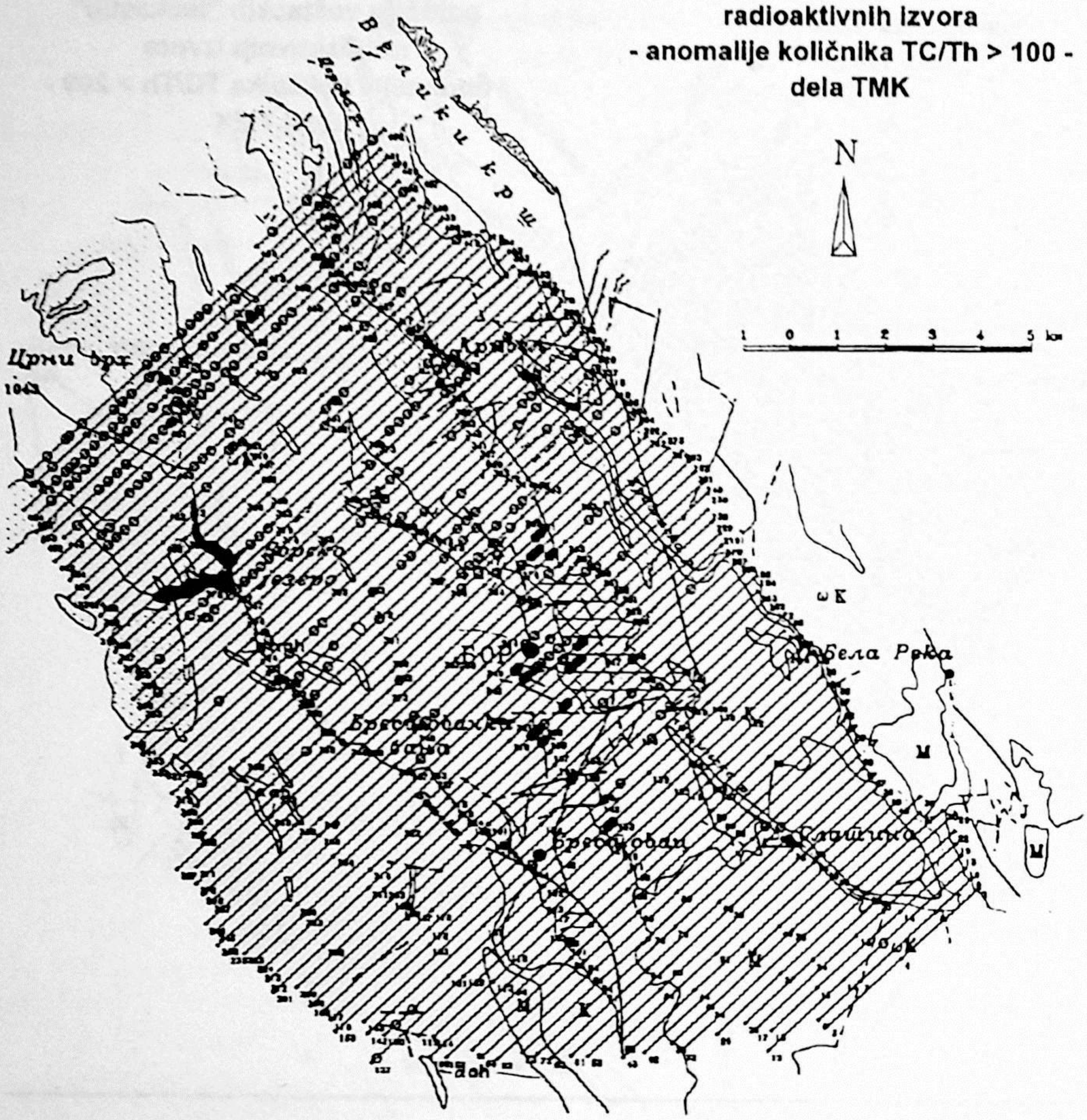
Legenda:

- M — Miocen-peskovi, šljunkovi krečnjaci i gline
- Hidrotermalno izmenjene stene
- αah — Gornjokredne formacije
- K — Konglomerati, peščari i laporci
- ωK — Aglomerati i breče andezita i dacita
- J — Slojeviti i bankoviti krečnjaci i dolomiti
- Jalovište

- POLOZAJ ANOMALIJE TC/Th
- 1 BROJ ANOMALIJE
- 5 FOTO SNIMAK
- 4
- PROFIL ISPITIVANJA
- 3

Slika 98

KARTA
položaja veštačkih "tačkastih"
radioaktivnih izvora
- anomalije količnika TC/Th > 100 -
dela TMK



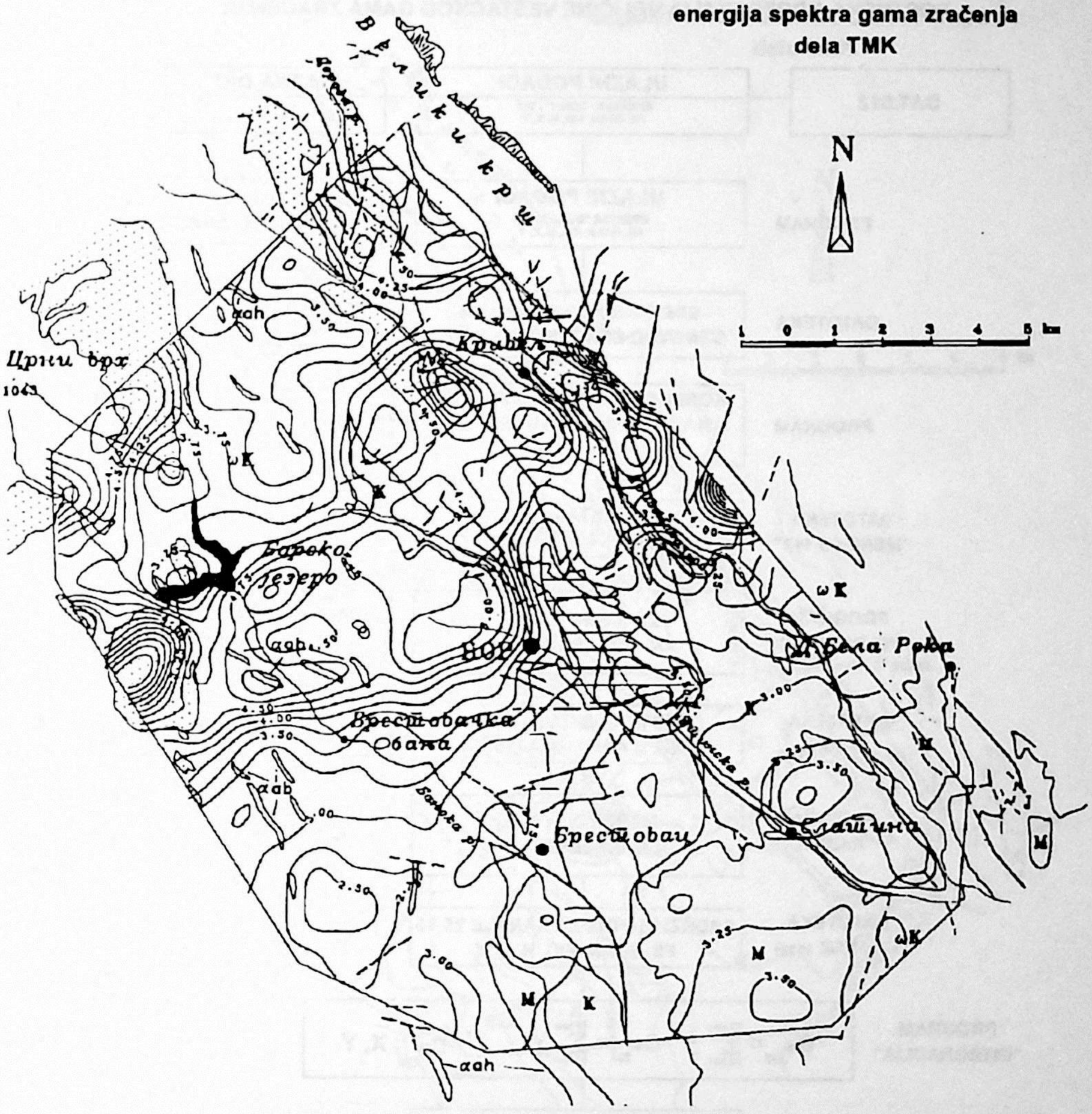
Legenda:

M	Miocen-peskovi, šljunkovi krečnjaci i gline
	Hidrotermalno izmenjene stene
αah	Gornjokredne formacije
K	Konglomerati, peščari i laporci
ωK	Aglomerati i breče andezita i dacita
J	Slojeviti i bankoviti krečnjaci i dolomiti
	Jalovište

- POLOZAJ ANOMALIJE TC/Th
1 BROJ ANOMALIJE
5 FOTO SNIMAK
4
3 PROFIL ISPITIVANJA

Slika 99

KARTA "N" / "V"
količnika suma "niskih" i "visokih"
energija spektra gama zračenja
dela TMK



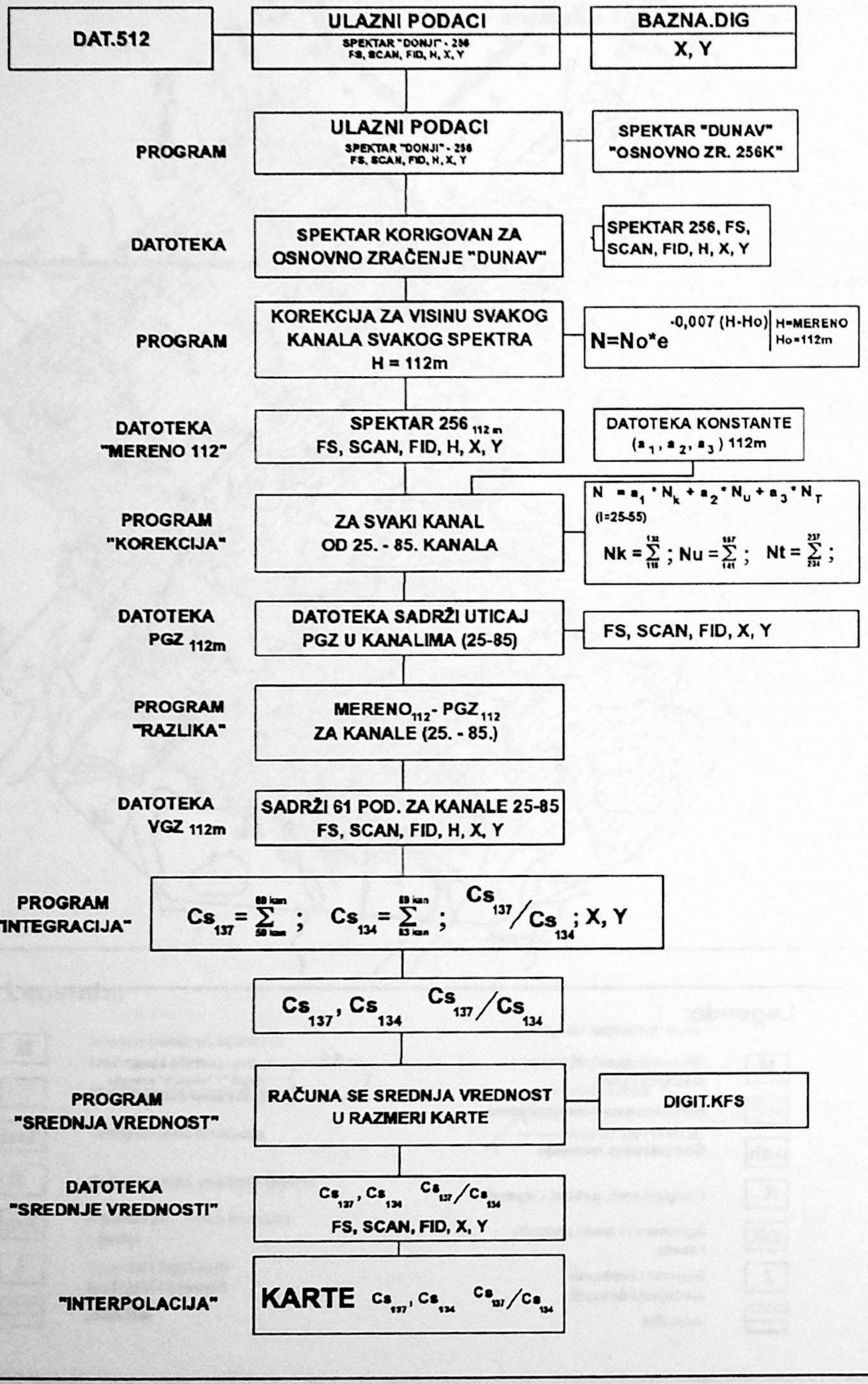
Legenda:

M	Miocen-peskovi, šljunkovi krečnjaci i gline
	Hidrotermalno izmenjene stene
αah	Gornjokredne formacije
K	Konglomerati, peščari i laporci
ωK	Aglomerati i breče andezita i dacita
J	Slojeviti i bankoviti krečnjaci i dolomiti
	Jalovište
3.5	Izolinije količnika suma "niskih" i "visokih" energije spektra gama zračenja

Slika 100

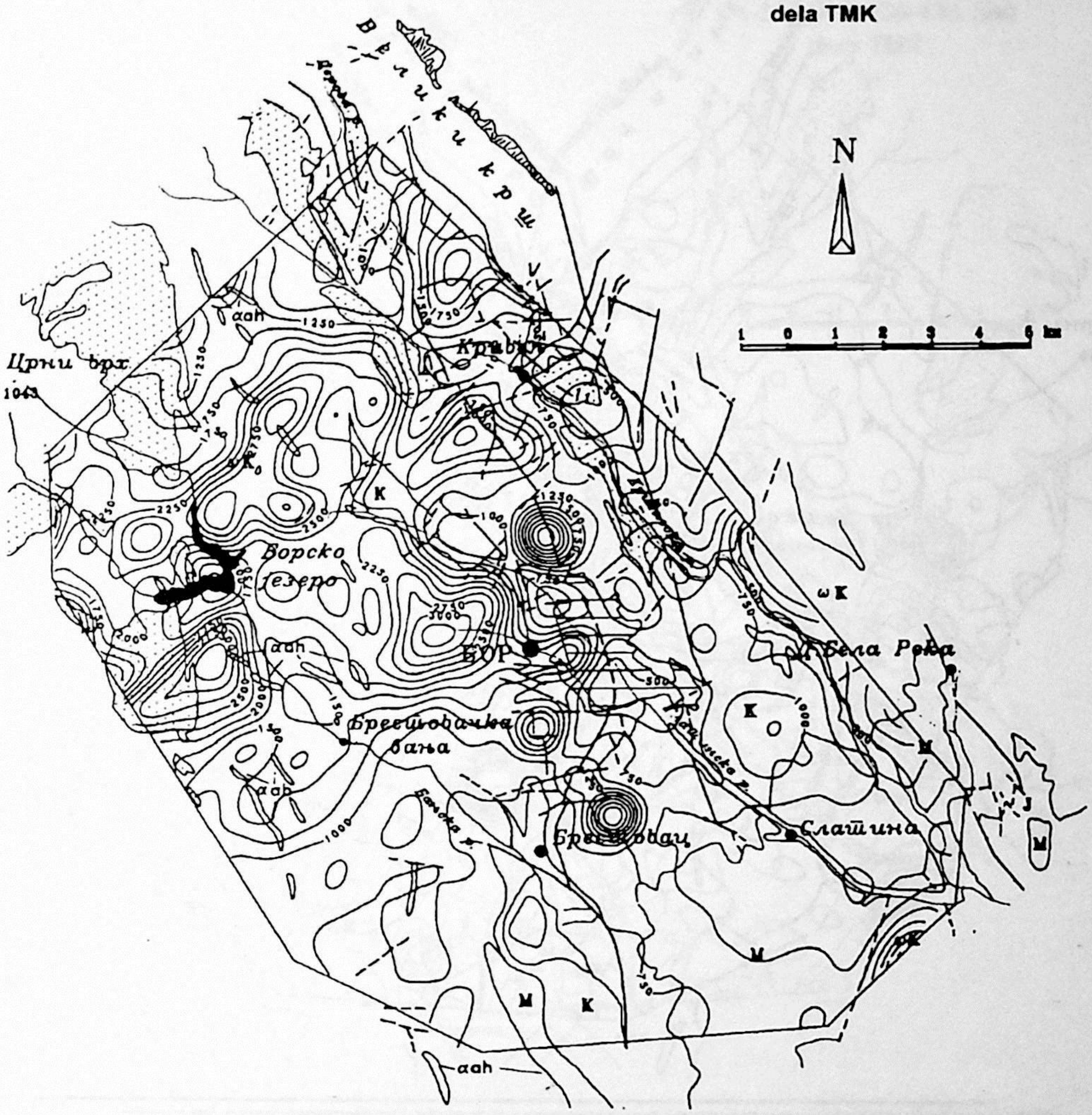
ALGORITAM

POSTUPKA ODREĐIVANJA VELIČINE VEŠTAČKOG GAMA ZRAČENJA



Slika 101

KARTA Cs-137
deponovane aktivnosti Cs-137 (Bq/m^2)
dela TMK

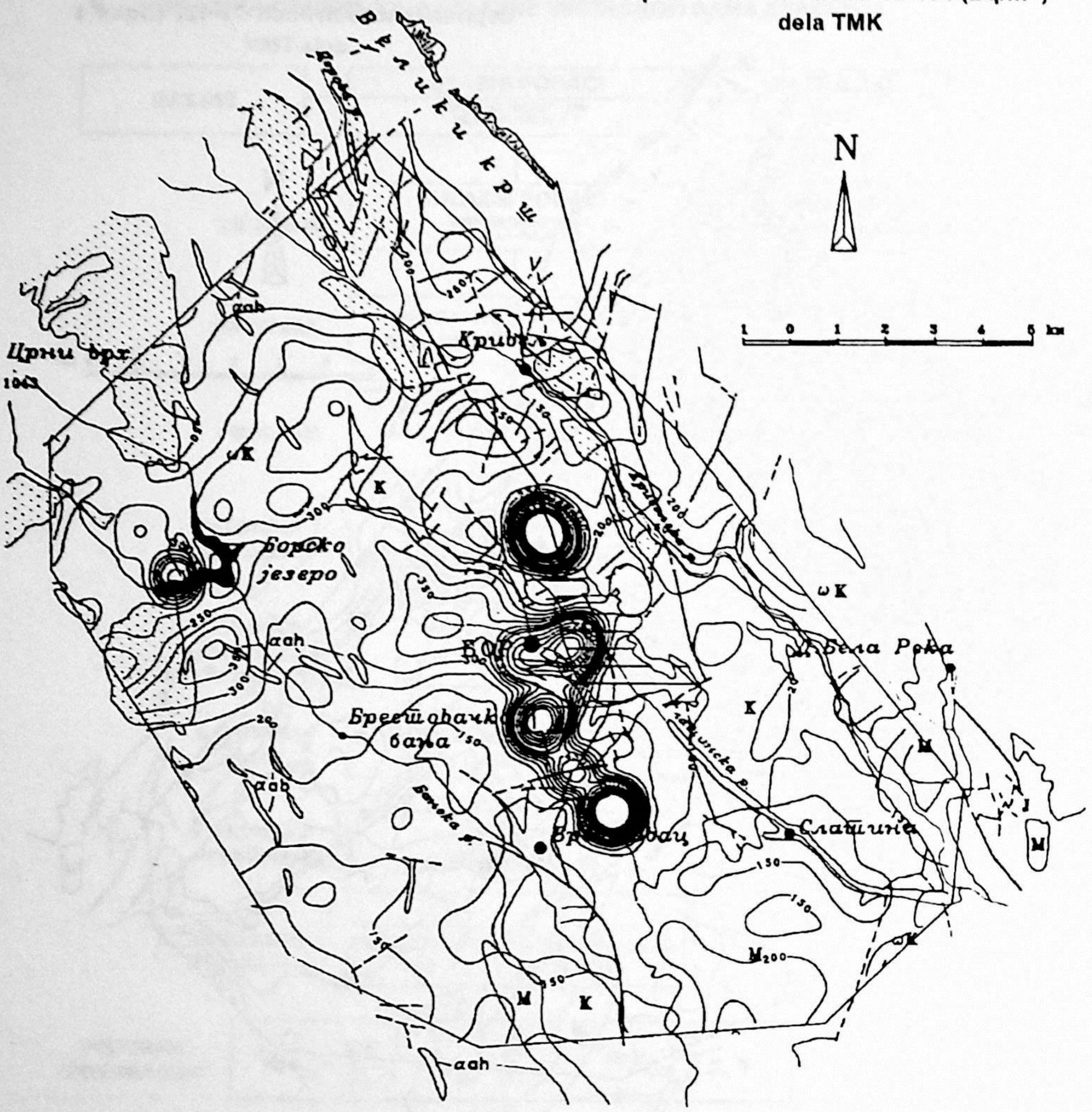


Legenda:

- **M** — Miocen-peskovi, šljunkovi krečnjaci i gline
- Hidrotermalno izmenjene stene
- **αah** — Gornjokredne formacije
- **K** — Konglomerati, peščari i laporci
- **ωK** — Aglomerati i breče andezita i dacita
- **J** — Slojeviti i bankoviti krečnjaci i dolomiti
- Jalovište
- 1000 — Izolinije deponovane aktivnosti Cs-137 (Bq/m^2)

Slika 102

KARTA Cs-134
deponovane aktivnosti Cs-134 (Bq/m^2)
dela TMK

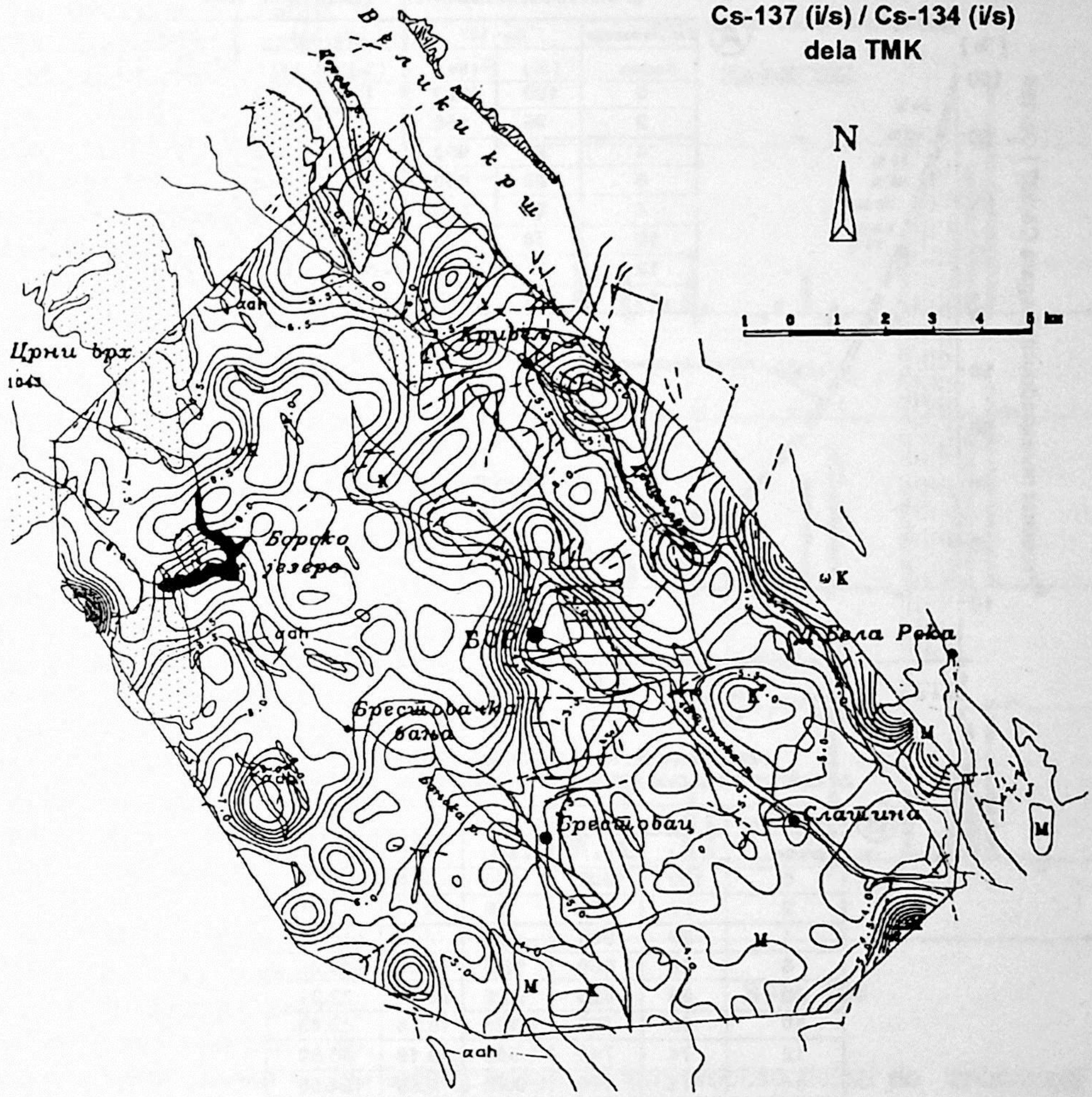


Legenda:

- **M** — Miocen-peskovi, šljunkovi krečnjaci i gline
- Hidrotermalno izmenjene stene
- **αah** — Gornjokredne formacije
- **K** — Konglomerati, peščari i laporci
- **ωK** — Aglomerati i breče andezita i dacita
- **J** — Slojeviti i bankoviti krečnjaci i dolomiti
- Jalovište
- 300 — Izolinije deponovane aktivnosti Cs-134 (Bq/m^2)

Slika 103

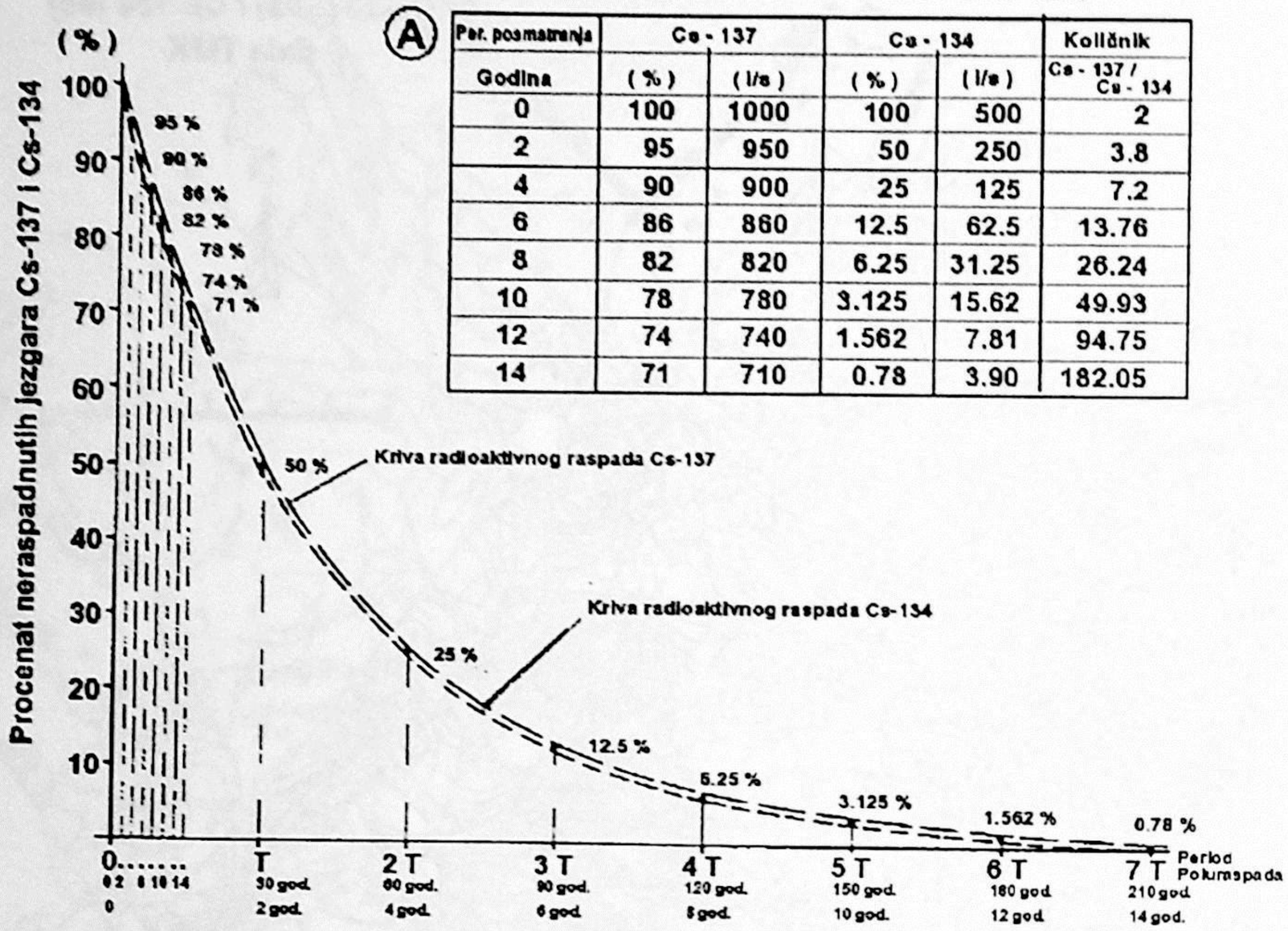
KARTA Cs-137 / Cs-134
količnika intenziteta gama zračenja
Cs-137 (i/s) / Cs-134 (i/s)
dela TMK



Legenda:

M	Miocen-peskovi, šljunkovi krečnjaci i gline
	Hidrotermalno izmenjene stene
αah	Gornjokredne formacije
K	Konglomerati, peščari i laporci
ωK	Aglomerati i breče andezita i dacita
J	Slojeviti i bankoviti krečnjaci i dolomiti
	Jalovište
8.50	Izolinije količnika Cs - 137 / Cs -134

Slika 104



UZORCI ANALIZIRANI U INSTITUTU
Dr DRAGOMIR KARAJOVIĆ TEREN "BOR" 1986.

(A)

Per. posmatranja	Cs - 137		Cs - 134		Količnik
Godina	(%)	(l/s)	(%)	(l/s)	Cs - 137 / Cs - 134
0	100	1000	100	500	2
2	95	950	50	250	3.8
4	90	900	25	125	7.2
6	86	860	12.5	62.5	13.76
8	82	820	6.25	31.25	26.24
10	78	780	3.125	15.62	49.93
12	74	740	1.562	7.81	94.75
14	71	710	0.78	3.90	182.05

UZORCI ANALIZIRANI U ŠVEDSKOM INSTITUTU
ZA ZAŠTITU OD RADIOAKTIVNOSTI TEREN "ŠTOKHLOM" 1986.

(B)

Per. posmatranja	Cs - 137		Cs - 134		Količnik
Godina	(%)	(l/s)	(%)	(l/s)	Cs - 137 / Cs - 134
0	100	1000	100	588	1.7
2	95	950	50	294	3.24
4	90	900	25	147	6.12
6	86	860	12.5	73.5	11.70
8	82	820	6.25	36.75	22.31
10	78	780	3.125	18.38	42.43
12	74	740	1.562	9.19	80.52
14	71	710	0.78	4.59	154.58

POTPUNO ISKORIŠĆENO GORIVO NUKLEARNOG REAKTORA

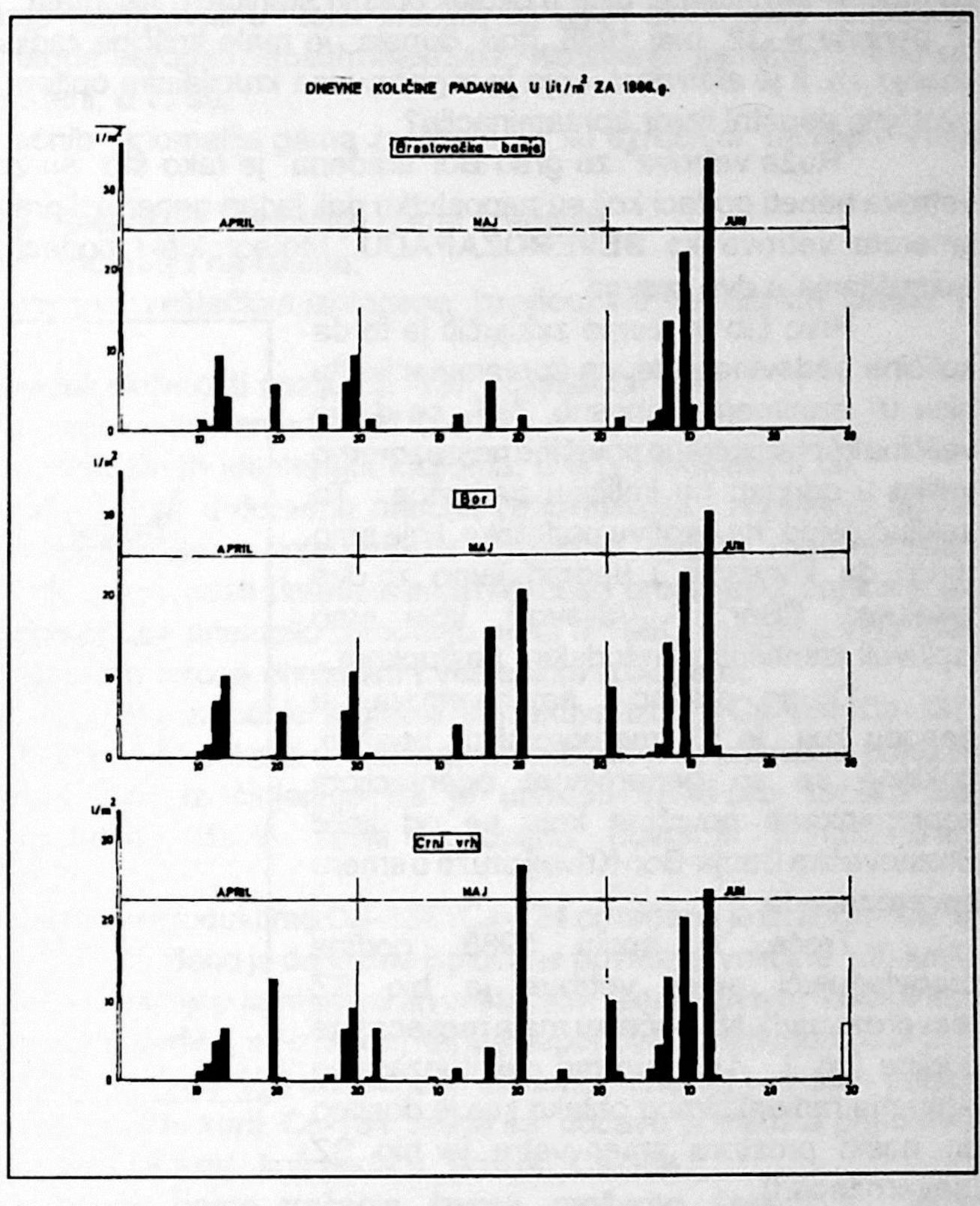
(C)

Per. posmatranja	Cs - 137		Cs - 134		Količnik
Godina	(%)	(l/s)	(%)	(l/s)	Cs - 137 / Cs - 134
0	100	1000	100	1000	1
2	95	950	50	500	1.9
4	90	900	25	250	3.6
6	86	860	12.5	125	6.88
8	82	820	6.25	62.5	13.12
10	78	780	3.125	31.25	24.96
12	74	740	1.562	15.62	48.59
14	71	710	0.78	7.8	91.02

Slika 105

33.2. Meteorološke karakteristike ispitivanog terena pre, za vreme i posle havarije u Černobilju

Katastrofa četvrtog bloka nuklearne elektrane "V.I Lenjin" u Černobilju dogodila se u jutarnjim satima 26. aprila 1986. godine. Tad je došlo do hemijske eksplozije, razaranja reaktora i krova građevine i nesmetane emisije ogromnih količina visoko radioaktivnog materijala u vazduh. Meteorološki uslovi, odnosno atmosferski pritisak i vazdušna strujanja, uslovili su direktan odlazak najfinije radioaktivne prašine u visoke slojeve atmosfere. Odatle je radioaktivna prašina pod uticajem visinskih strujanja krenula u pravcu Skandinavije gde je već 28. aprila konstatovana stacionarnim Monitoring sistemom.



Slika 106

Ubrzo se pravac i smer visinskog strujanja menja i visoko radioaktivan oblak kreće na jug, u pravcu Belorusije, Ukrajine, Rumunije i Mađarske. Isti talas pojavljuje se na našim granicama 29. aprila, kad je prvi put registrovan na mernoj stanici "Palić".

Na svom putu tople vazdušne mase sa kontinenta sudaraju se sa hladnim masama koje dolaze sa Atlantika. To proizvodi pražnjenje oblaka u vidu tečnog taloga. U tom procesu dolazi do značajnog ispiranja radioaktivnog sadržaja oblaka i velike kontaminacije tla visoko radioaktivnim izotopima koji su bili emitovani nekoliko sati ili dana ranije iz reaktora u Černobilju.

Prva država koja je bila visoko kontaminirana bila je Švedska. Njeni stručnjaci su prvi alarmirali svetsku javnost pošto je postojala tendencija tadašnje administracije SSSR-a da zataška stvar. Tek posle satelitskih snimaka i neoborivih dokaza priznata je havarija i počela je saradnja sa svetskim oganizacijama zaduženim za kontrolu i zaštitu od radioaktivnosti. Među njima je na prvom mestu IAEA, sa sedištem u Beču.

Teritorija istočne Jugoslavije bila je kontaminirana u dva navrata. Prvi se dogodio 1. i 2. maja, a drugi od 9. do 12. maja.

Uža lokalnost, koja je ispitivana u toku krucijanog opita, proučavana je i sa te tačke gledišta. Proučavani su podaci meteorološkog stanja, za period april, maj i juni 1986. godine, koji su dobijeni od Republičkog hidrometeorološkog zavoda.

Na slikama 106. i 107. prikazane su količine tečnih padavina za merne stanice Brestovačka Banja, Bor i Crni Vrh i tzv "ruža vetrova" za grad Bor.

Na osnovu podataka, koji se mogu videti na slikama, možemo zaključiti da je uža okolina

grada Bora, u koju spada ispitivana površina od Crnog Vrha do Slatine, u periodu najveće kontaminacije naših terena bila malo izložena padavinama.

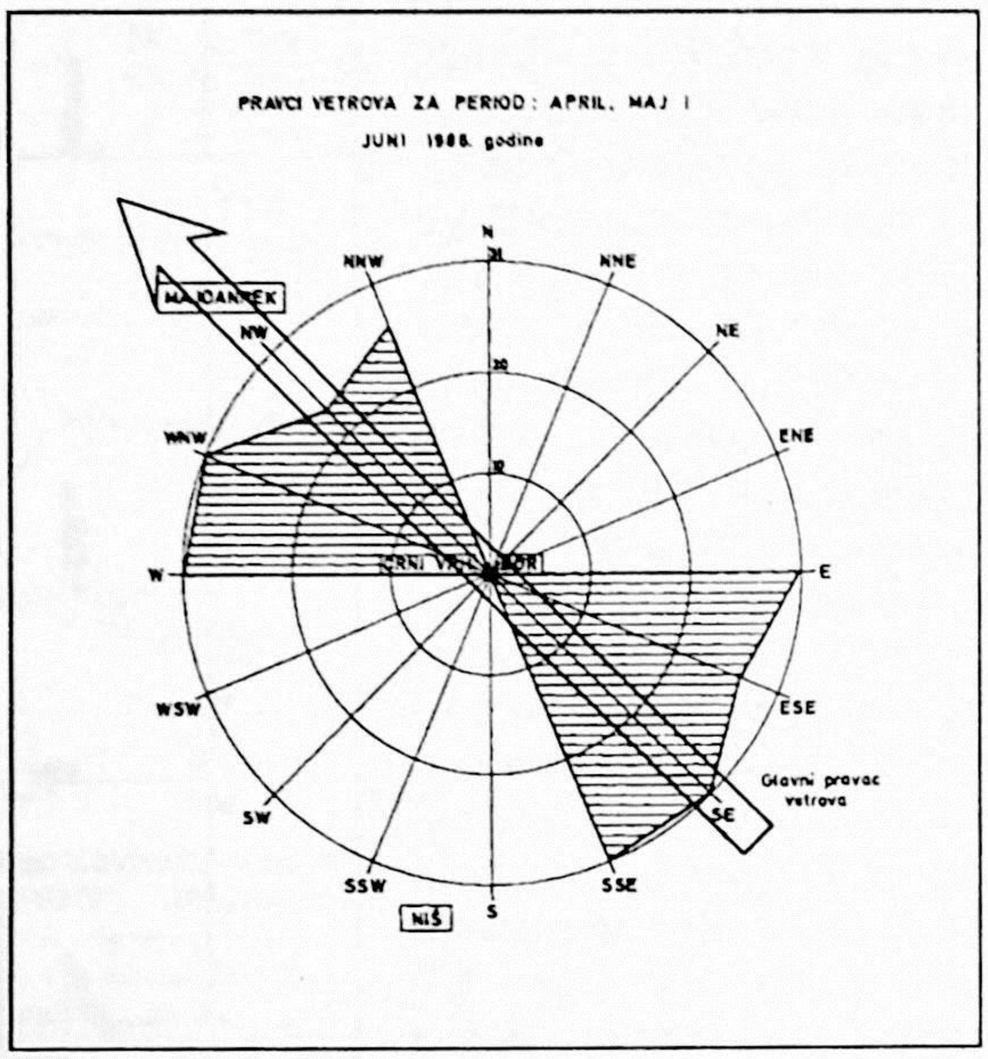
Posledica toga je bilo slabo ispiranje radioaktivnih oblaka i mala kontaminacija terena. Količina od 1 do 7 l/m^2 koja je pala u okolini opitnih stanica 1. i 2. maja 1986. god. ili 1 do 4 l/m^2 koja je pala u periodu 9.-12. maj 1986. god. donela je male količine radioaktivnog materijala. Ostaje otvoreno pitanje da li je aktivnost koja je registrovana krucijalnim opitom posledica tog pražnjenja oblaka ili je postojao dodatni izvor kontaminacije?

"Ruža vetrova" za grad Bor urađena je tako što su za svaki dan opažanja pravca i smera vetrova naneti podaci koji su naposletku dali jedan generalni pravac vetrova SZ-JI sa preovlađujućim smerom vetrova ka **SEVEROZAPADU**. Meteorološki podaci koje smo koristili usmeravaju naša razmišljanja u dva pravca.

Prvo što možemo zaključiti je to da količina padavina i stepen kontaminacije tla nisu u srazmeri. Odnosno, čini se da je veličina kontaminirane površine nesrazmerno velika u odnosu na količinu padavina. To zaključujemo na osnovu podataka koje smo mogli da koristimo i upoređujemo za dve lokalnosti ("Bor" i "Valjevo"), koje smo ispitivali identičnim metodskim postupkom.

Drugo, pravac i smer vetrova, u periodu koji je bio meteorološki opažan, poklapa se sa generalnom orjentacijom kontaminirane površine koja se od linije Brestovačka Banja-Bor-Krivelj pruža u smeru severozapada.

Treće, u aprilu 1986. godine preovlađujući smer vetrova je bio SZ (severozapad). Na početku maja meseca iste godine (od 2 - 4) za vreme najintenzivnijeg ispiranja radioaktivnog oblaka koji je dospeo do naših prostora smer vetra je bio SZ (severozapad).



Slika 107

Na osnovu prikazanog primera korišćenja meteoroloških podataka, možemo zaključiti da je njihova primena nezaobilazna u toku kontrole stanja radioaktivnosti tla u mirnim situacijama za prikupljanje bazne dokumentacije, a posebno za vreme havarija sličnih onoj koja se dogodila u Černobilju.

33.3. Diskusija rezultata krucijalnog opita

Interpretaciju rezultata koje smo registrovali u toku krucijalnog opita iznad dela Timočkog magmatskog kompleksa primenom metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja moramo početi sa rezultatima koji su nedvosmisleno potvrđeni, a to su:

-utvrđen je veliki broj pojedinačnih anomalija gama zračenja čiji su uzročnici "tačkasti" veštački izotopi,

-određena je priroda uzročnika "tačkastih" anomalija gama zračenja,

-određeni su položaji "tačkastih" anomalija na terenu,

-definisana je površina kontaminirana veštačkim izotopima, izradom karte količnika "niskih" i "visokih" energija,

-određene su veličine deponovanih aktivnosti cezijuma -137 i cezijuma-134 i

-određen je količnik intenziteta gama zračenja Cs137/Cs134.

-određeni su sadržaji prirodno radioaktivnih elemenata kalijuma, urana i torijuma u tlu.

Do ovog dela monografije kretali smo se u domenu naučne problematike i razvijanja takve tehnologije radova koja je rezultirala podacima koje će interpretator koristiti. U daljem radu rezultati će zavisiti isključivo od sposobnosti analize i mogućnosti sintetizovanja najvećeg broja nepoznanica koje su se nalazile pred istraživačima pre nego što se pristupilo izvođenju opita u TMK, imajući u vidu sve pretpostavke o mogućem kontaminiranju ovog terena prirodnim i veštačkim izotopima.

Karte položaja "tačkastih" anomalija, čiji su uzročnici veštački radioaktivni izotopi Cs-134 i Cs-137 (slika 99) koji su, poznato je, produkti nuklearnih reakcija u nuklearnim reaktorima, prikazuje položaj tačaka kod kojih je količnik TC/Th veći od 100. Iz činjenice da je utvrđen veliki broj tačaka sa anomalijskim vrednostima TC/Th, zaključujemo da je veliki deo opitne površine kontaminiran radioaktivnim izvorima fisionog porekla.

Veličina površine kontaminirane fisionim produktima CS-137 i Cs-134 određena je izradom karte količnika N/V. Na osnovi karte N/V (slika 100) utvrđeno je da je deo ispitivane površine, veličine 100 km^2, severozapadno od Bora i Brestovačke Banje značajno kontaminiran veštačkim radioaktivnim izotopima.

Veličina, pravac i smer kontaminacije određeni su izradom karata deponovane aktivnosti Cs-137 i Cs-134 (slike 102 i 103). Na bazi karata Cs-137 i Cs-134 utvrđeno je da kontaminacija površine polazi od grada Bora i širi se u smeru severozapada. Na karti Cs-134 jasno se uočava posledica prisustva Eu-152/154 i njegovog energetskog pika na 779 KeV, koji pada u "prozor" Cs-134.

Vreme kontaminacije i poreklo izvora gama zračenja izvora možemo izvesti iz karte količnika intenziteta gama zračenja Cs-137/Cs-134 (slika 105) koristeći tabele prikazane na slici 104. Na osnovi tabele prikazane na Slici 100 i vrednosti količnika (Cs137/Cs134=7-9) zaključujemo da je konstatovana kontaminacija terena severozapadno od Bora, veličine 100 km^2, obavljena četiri godine pre ispitivanja, znači u isto vreme kad se dogodila i havarija nuklearnog reaktora nuklearne elektrane u Černobilju. Meteorološka situacija u periodu april-maj-jun 1986. god. nije bila takva da je mogla da bitno utiče na veličinu površine, intenzitet kontaminacije i veličinu deponovane aktivnosti. Količina tečnog taloga od (1-7)l/m^2 koja je pala 2.maja 1986.god.i (1-4) l/m^2 koja je pala u periodu od 10. - 12. maja kada je naišao i drugi radioaktivan oblak iz Černobilja, **čini se**, nije mogla da obori količinu veštačkih radioaktivnih čestica koja daje tako zančajne i jasne anomalije.

Južno i jugoistočno od granice Tilva Njagra, Brestovačka Banja, Bor, Krivelj količnik intenziteta gama zračenja Cs137/Cs134 ima vrednosti od (4) do (5) što ukazuje na moguću veću starost kontaminacije cele ispitivane površine i drugo poreklo izvornog materijala.

U ovim razmatranjima postoje dva objašnjenja mogućeg porekla radioaktivnog materijala koji je kontaminirao ispitivanu površinu.

Prvo razmotrimo slučaj da je površina kontaminirana radioaktivnim materijalom poreklom iz Kozloduja. U tom slučaju kontaminacija je morala da se dogodi dve do tri godine pre naših ispitivanja, a najmanje godinu dana posle Černobilja. U tom slučaju pretpostavljamo da se radioaktivan materijal karakterisao u startu količnikom Cs137/Cs134 = (1,7-2) (slika 104) i da je teritorija jugoistočno od

Bora nije prethodno kontaminirana.

Drugo moguće objašnjenje bilo bi da je, gotovo istovremeno, sa događanjima vezanim za havariju u Černobilju, na neki način došlo do kontaminacije cele ispitivane teritorije veštačkim radioaktivnim izotopima iz nuklearnog goriva koje je korišćeno u nuklearnim reaktorima pun period i da je kod te vrste reaktora na kraju gorivnog ciklusa količnik (Cs137/Cs134=1). U tom slučaju, posle četri godine koliko je prošlo od moguće kontaminacije takvim gorivom količnik Cs137/134 dostigao bi vrednost oko broja (4).

Rešenja nažalost nisu jednoznačna i sa raspoloživim podacima možemo samo pokrenuti nova pitanja koja se moraju rešavati preciznim analizama uzoraka tla sa ispitivanog terena, što više ne spada u domen i cilj ove monografije.

34.0. ORGANIZACIJA KOMPLEKSNOG MONITORING SISTEMA NA NIVOU JEDNE DRŽAVE

Najefikasniji način kontrole i zaštite čovekove životne sredine u jednoj državi ostvaruje se formiranjem kompleksnog **MONITORING SISTEMA**, kontrole radioaktivnosti vode, vazduha, tla, biljnog i životinjskog sveta.

Organizacija takvog sistema bazira se na merenju svih vrsta radioaktivnosti. Takva merenja moraju biti na nivou države, pod kontrolom jednog centra kojim bi upravljali nezavisni, kompetentni, priznati, provereni i ovlašćeni stručnjaci. U tako organizovan centar stizale bi sve informacije čiji bi se značaj ocenjivao i na osnovu kojih bi se donosile sve važne odluke u cilju zaštite stanovništva.

Tako koncipiran sistem ne može se zamisliti bez metoda koje će biti brze i efikasne. Takve metode u svetu su u primeni već više desetina godina. One podrazumevaju potpunu automatizaciju rada instrumenata i prenosa informacija, primenu digitalne tehnike i najsavremenijih računarskih sistema i kompjuterskih programa.

Ohrabruje činjenica da su u toku 1990. godine u bivšoj Jugoslaviji na 12 meteoroloških stanica montirani instrumenti za merenje radioaktivnosti vazdušnih masa u toku 24h svakog dana u godini. Odabrane su meteorološke stanice koje se nalaze na svim očekivanim pravcima iz kojih se može pojaviti kontaminacija radioaktivnim izotopima veštačkog porekla. Podaci registrovani na ovim meteorološkim stanicama do sada su upućivani radio vezom glavnom centru koji je bio stacioniran u Saveznom hidro - meteorološkom zavodu. Na žalost, automatski način predaje podataka nije još uspostavljen ali i ovakav početak otvara mogućnost dogradnje sistema koji je počeo da se formira.

Međutim, za vreme velike havarije nekog nuklearnog postrojenja pojedine merne stanice pružiće informaciju o pravcu iz kojeg dolazi radioaktivan oblak kao i o stepenu i vrsti radioaktivnosti. Pored tih informacija neophodno je, a i moguće, odmah na samoj meteorološkoj stanici odrediti ostale neophodne informacije kao što su: atmosferski pritisak, vrsta i količina padavina, ako ih ima, vlažnost vazduha, pravac i brzina vetra i temperatura vazduha.

Sa stanovišta zaštite stanovništva od štetnog uticaja veštačkih radioaktivnih izotopa, čije je poreklo iz nuklearnih reaktora, najkritičniji su prvi dani u razvoju kontaminacije čovekove životne sredine. U tom, veoma kratkom vremenskom periodu koji se meri satima i, najviše, danima, neophodno je, pre svega odrediti površinu koja je kontaminirana, veličinu kontaminacije i vrstu radioaktivnih izotopa.

Takve informacije ne mogu pružiti 12 stacionarnih stanica koje, svaka posebno, praktično "pokriva" površinu od oko 20.000 km^2 teritorije bivše Jugoslavije za koju su bili planirane.

Kakvo je stanje kontaminacije unutar tih hipotetičnih površina nemoguće je znati u prvo vreme, i pored toga što je sistem stacionarnih tačaka signalizirao opasnost. Zbog toga, neophodno je utvrditi, šta se događa na teritoriji veličine pokrajine ili cele republike.

Kritičnost trenutka primorava instituciju koja se bavi zaštitom stanovništva da odmah organizuje mere zaštite, i to prvo na onim površinama koje su najviše kontaminirane, a zatim i na ostalima prema stepenu opasnosti. U tom periodu potrebno je organizovati drugi krug merenja radioaktivnosti koji se u dobro postavljenim Monitoring sistemima obavlja iz vazduha, a koji, nažalost, do sada kod nas ni u jednoj ozbiljnoj studiji ni organizaciji kontrole radioaktivnosti nije ni pomenut.

Ako se postavi zadatak da se, u kritičnom periodu kontaminacije teritorije jedne države, u vremenski najkraćem roku, odredi geografski položaj površine koja je najviše zagađena veštačkim radioaktivnim izotopima, a koja je istovremeno nastanjena velikom populacijom ljudi, neophodno je projektovati primenu tehnika i metoda koje taj zahtev mogu da ispune. U svetu se za to koriste uređaji za analizu spektra gama zračenja iz vazduha, po postupcima koji se oslanjaju na identične teorijske osnove fizike problema, koji su već u ovom radu opisani.

Monitoring sistem izvora jonizujućeg zračenja kakav je ovde predložen (slika 108) mora koristiti savremena dostignuća tehnike i tehnologije (digitalnu tehniku i mikroprocesorsku automatiku) i mora biti organizovan u tri zasebne celine koje bi se aktivirale gotovo istovremeno. Te tri celine su sledeće:

1.Praćenje meteoroloških podataka (kretanje vazdušnih frontova, praćenje promene atmosferskog pritiska, temperature, brzine vetra, vlažnosti vazduha, količina padavina i nivoa radioaktivnosti na samoj meteorološkoj stanici. Meteorološki podaci prikupljaju se na površini tla, iz vazduha meteorološkim balonoma i kosmosa satelitima.

2.Sistematska ispitivanja intenziteta osnovne i vaštačke radioaktivnosti na meteorološkim i stacionarnim kontrolnim stanicama.

3.Ispitivanja radioaktivnosti iz vazduha, primenom 256 - kanalnog gamaspektrometra sa detektorima gama zračenja velike zapremine (od 16 do 50 litara).

Pri organizaciji Monitoring sistema kontrole radioaktivnosti postoje dva načina rada sistema koji zavise od stepena i vrste ugroženosti čovekove životne sredine.

Prvi način rada sistema je takozvani "NORMALAN", način rada kad je nivo radioaktivnosti u granicama normalnih, odnosno osnovnih vrednosti i kad ne postoji direktna opasnost.

Pri Normalnom statusu rada Monitoring sistema sve kontrolne radnje obavljaju se po jednom ustaljenom režimu, u cilju utvrđivanja normalnih vrednosti prirodne i veštačke radioaktivnosti i određivanja podataka o njihovoj veličini, stvaranja **BAZNE DATOTEKE** čiji će podaci u slučajevima havarija nuklearnih ili drugih radioaktivnih postrojenja poslužiti kao reperne veličine za određivanje stepena, prirode i površine kontaminacije određene teritorije.

U tom cilju neophodno je prethodno uraditi karte osnovne radioaktivnosti prirodnih i veštačkih radioaktivnih izotopa koristeći podatke merenja spektra gama zračenja iz vazduha u normalnim režimu rada.

Drugi način rada Monitoring sistema koji nazivamo **"HAVARIJSKI"** organizuje se od trenutka kad je konstatovana opsnost od kontaminacije velikih teritorija. U takvim slučajevima sistem je u statusu permanentne aktivnosti sa povećanim brojem instrumenata, ljudstva i letilica.

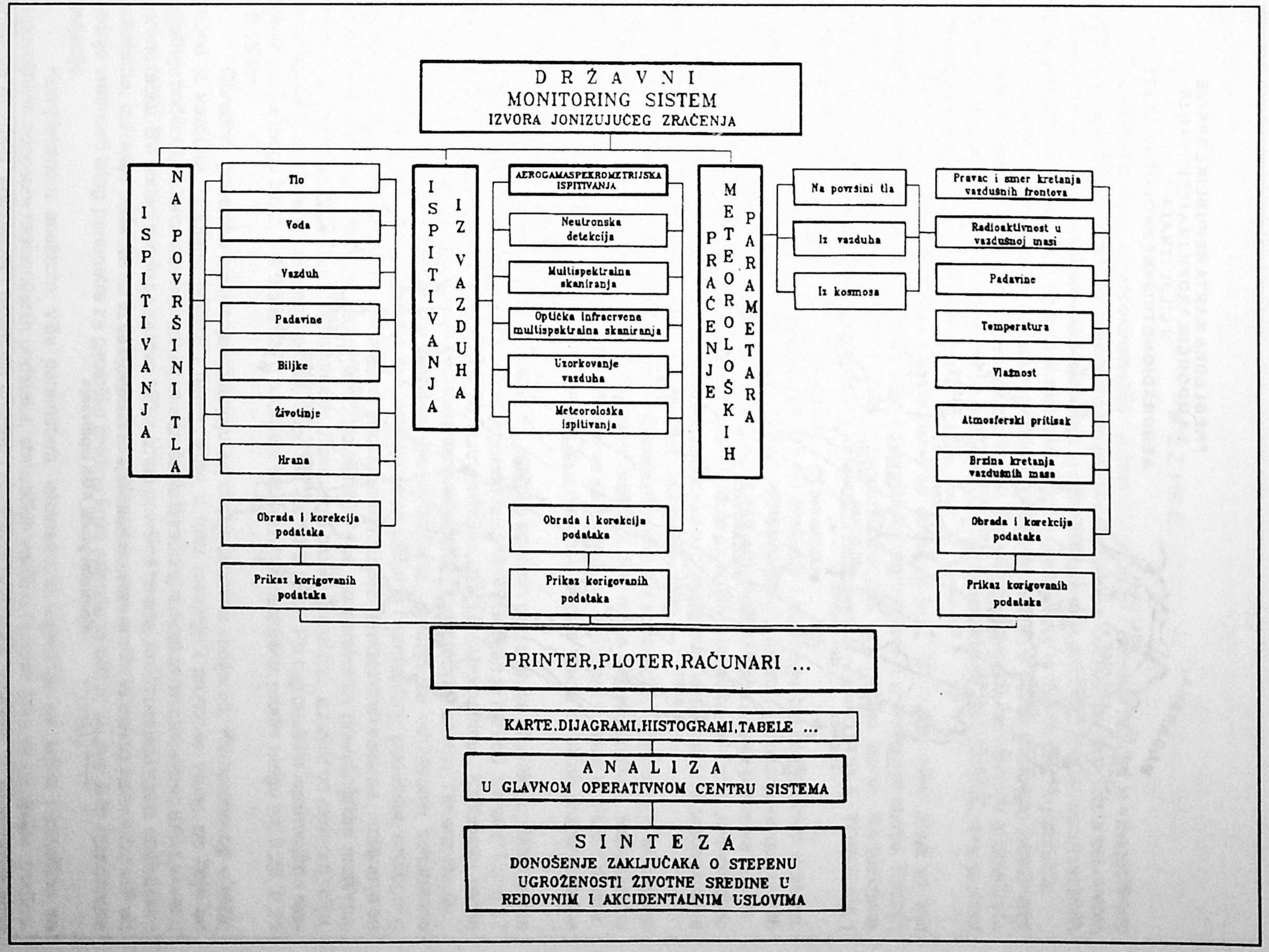
U tom periodu bili bi aktivirani sistemi stalnog merenja prirodne i veštačke radioaktivnosti vazduha, vode, tla, biljaka i životinja. Istovremeno bi počela sistematska ispitivanja aktivnosti radioaktivnih izotopa, koji emituju sa površine terena, merenjem spektra gama zračenja iz vazduha. Ta merenja se obavljaju iznad površina jedne države. Profili ispitivanja nivoa radioaktivnosti projektuju se tako da u početku budu na velikim rastojanjima (od 100-50 km), a zatim u zavisnosti od stepena kontaminacije teritorije rastojanja se smanjuju na 25, 10 , 5 , 2 i 1 km.

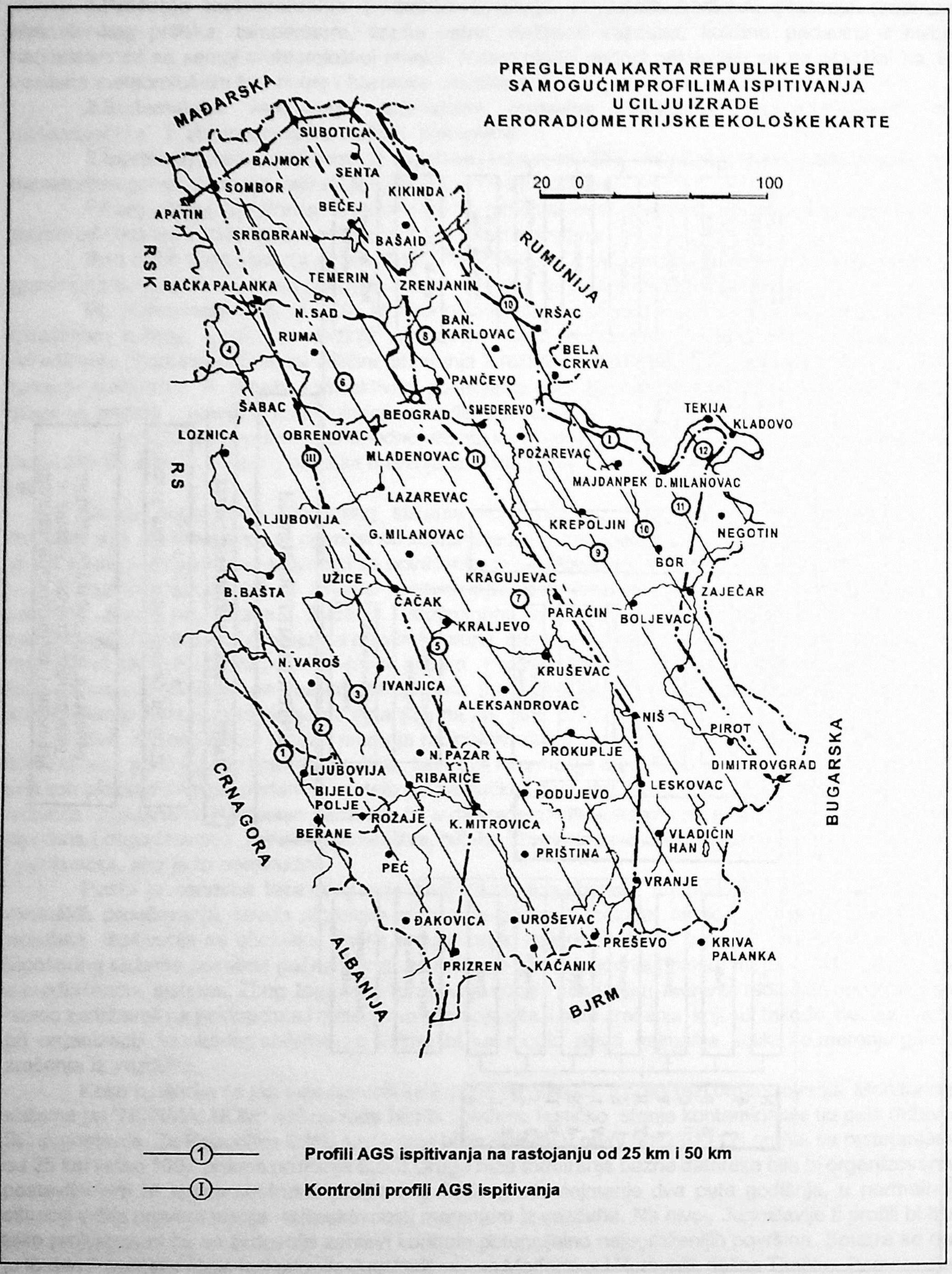
Sve tri nezavisne celine merenja radioaktivnosti u slučaju havarijskih situacija odmah, bez zadržavanja, po dobijanju finalnih rezultata, šalju sve informacije timu stručnjaka u glavnom centru koji vrši kompleksnu analizu podataka, sintetizuje zaključke i daje uputstva za delovanje njima podređenih istitucija i pojedinaca. Na opisan način bila bi, u najkraćem vremenskom roku, određena najugroženija površina i organizovana zaštita stanovništva, biljaka i životinja, sve vrste medicinske kontrole pa čak i evakuacija, ako je to neophodno.

Pošto je osnovna teza ovog rada teorijska razrada primene metode AGS ispitivanja u okviru ekoloških proučavanja, izrada algoritma realizacije primene metode, obrade podataka i tumačenje rezultata ispitivanja sa ekološke tačke proučavanja, logično je da se u okviru proučavanja sklopa Monitoring sistema posebna pažnja obrati na merenje gama zračenja i mesto metode AGS ispitivanja u predloženom sistemu. Zbog toga se u tumačenju i opisu postupaka merenja radioaktivnog zračenje nismo zadržavali na postupcima i metodama merenja alfa i beta zračenja koji su, takođe, nezaobilazni pri organizaciji Monitoring sistema i o kojima bi se moglo pisati najmanje koliko i o merenju gama zračenja iz vazduha.

Kako radijacija ne poznaje republičke ili državne granice, u prvoj fazi organizovanja Monitoring sistema pri "NORMALNOM" načinu rada bilo bi utvrđeno faktičko stanje kontaminacije tla cele države SR Jugoslavije. Za Republiku Srbiju ispitivanja bi se obavila u prvoj fazi duž (12) profila sa rastojanjem od 25 km (slika 109), pravca pružanja SZ-JI.Druga faza formiranja bazne datoteke bila bi organizovana postavljanjem tri stalna kontrolna profila duž kojih bi se, najmanje dva puta godišnje, u normalnoj situaciji vršila provera stanja radioaktivnosti merenjem iz vazduha. Na nivou Jugoslavije ti profili bi bili tako projektovani da se zadovolje zahtevi kontrole potencijalno najugroženijih površina. Smatra se da je to:deo Panonske nizije koji pripada Jugslaviji prema Mađarskoj i Rumuniji, dolina Timoka, Pomoravlje i zapadna granica prema Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini.

Slika 108


DRŽAVNI
MONITORING SISTEM
IZVORA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA
ISPITIVANJA NA POVRŠINI TLA
Tlo
Voda
Vazduh
Padavine
Biljke
Životinje
Hrana
Obrada i korekcija podataka
Prikaz korigovanih podataka
ISPITIVANJA IZ VAZDUHA
AEROGAMASPEKROMETRIJSKA ISPITIVANJA
Neutronska detekcija
Multispektralna skaniranja
Optička infracrvena multispektralna skaniranja
Uzorkovanje vazduha
Meteorološka ispitivanja
Obrada i korekcija podataka
Prikaz korigovanih podataka
PRAĆENJE METEOROLOŠKIH PARAMETARA
Na površini tla
Iz vazduha
Iz kosmosa
Pravac i smer kretanja vazdušnih frontova
Radioaktivnost u vazdušnoj masi
Padavine
Temperatura
Vlažnost
Atmosferski pritisak
Brzina kretanja vazdušnih masa
Obrada i korekcija podataka
Prikaz korigovanih podataka
PRINTER,PLOTER,RAČUNARI ...
KARTE,DIJAGRAMI,HISTOGRAMI,TABELE ...
ANALIZA
U GLAVNOM OPERATIVNOM CENTRU SISTEMA
SINTEZA
DONOŠENJE ZAKLJUČAKA O STEPENU UGROŽENOSTI ŽIVOTNE SREDINE U REDOVNIM I AKCIDENTALNIM USLOVIMA


PREGLEDNA KARTA REPUBLIKE SRBIJE
SA MOGUĆIM PROFILIMA ISPITIVANJA
U CILJU IZRADE
AERORADIOMETRIJSKE EKOLOŠKE KARTE
20 0 100
MAĐARSKA
SUBOTICA
BAJMOK
SENTA
SOMBOR
KIKINDA
APATIN
BEČEJ
SRBOBRAN
BAŠAID
RUMUNIJA
RSK
BAČKA PALANKA
TEMERIN
ZRENJANIN
N. SAD
VRŠAC
BAN. KARLOVAC
RUMA
BELA CRKVA
PANČEVO
ŠABAC
BEOGRAD
SMEDEREVO
TEKIJA
KLADOVO
LOZNICA
OBRENOVAC
POŽAREVAC
MLADENOVAC
MAJDANPEK
D. MILANOVAC
RS
LAZAREVAC
LJUBOVIJA
KREPOLJIN
NEGOTIN
G. MILANOVAC
BOR
KRAGUJEVAC
UŽICE
B. BAŠTA
ZAJEČAR
ČAČAK
PARAĆIN
BOLJEVAC
KRALJEVO
N. VAROŠ
KRUŠEVAC
IVANJICA
ALEKSANDROVAC
NIŠ
PIROT
PROKUPLJE
N. PAZAR
DIMITROVGRAD
LJUBOVIJA
RIBARIĆE
LESKOVAC
BIJELO POLJE
PODUJEVO
ROŽAJE
K. MITROVICA
BERANE
VLADIČIN HAN
PRIŠTINA
PEĆ
VRANJE
ĐAKOVICA
UROŠEVAC
PREŠEVO
KRIVA PALANKA
CRNA GORA
ALBANIJA
PRIZREN
KAČANIK
BJRM
BUGARSKA
Profili AGS ispitivanja na rastojanju od 25 km i 50 km
Kontrolni profili AGS ispitivanja

Slika 109

R E Z I M E

Monografija *Aerogamaspektrometrija - primena u geologiji i ekologiji* rezultat je višegodišnjeg studioznog rada autora i predstavlja sintetizovan pregled teorijskih proučavanja i rezultatata ostvarenih u praksi prilikom primene metode AGS ispitivanja, u okviru istraživanja prirodne radioaktivnosti različitih mineralnih sirovina i ekoloških ispitivanja radioaktivnosti tla veštačkog, najčešće fisionog porekla.

Primena metode aerogamaspektrometrijskih (AGS) ispitivanja u okviru geoloških istraživanja zasniva se na merenju iz vazduha intenziteta prirodne gama radioaktivnosti, određivanju anomalija te radioaktivnosti i povezivanju tih anomalija sa geohemijskim procesima koji su, u većini slučajeva, pratioci formiranja radioaktivnih i drugih mineralnih sirovina.

Emisija gama zraka obično ide paralelno sa emisijom (α) i (β) zraka, usled čega se vrši energetsko preuređenje jezgra, prilikom čega novonastalo jezgro ostaje u pobuđenom stanju. Emisija gama zraka događa se kada jezgro prelazi u osnovno, stabilno, energetsko stanje. Radioaktivne materije se spontano raspadaju, dezintegrišu, formirajući radioaktivne nizove URANA, TORIJUMA i AKTINIJUMA.

Sami po sebi uran i torijum nisu emiteri (γ) zračenja i ne mogu biti registrovani direktno. Utvrđivanje prisustva urana, torijuma i kalijuma u tlu vrši se preko produkata raspadanja nizova U-238 (BIZMUTA-214), Th-232 (TALIJUMA-208) i K (KALIJUMA-40). Prilikom utvrđivanja prisustva U, Th i K u tlu, na osnovi broja registrovanih gama zraka, utvrđuje se količina predaka, pri čemu se smatra da postoji direktna relacija između količine potomaka i predaka u radioaktivnim nizovima. Ova predpostavka važi samo kada su radioaktivni nizovi u stanju sekularne ravnoteže.

Metoda AGS ispitivanja zasniva se na korišćenju efekata scintilacije. Scintilacija je efekat koji nastaje pri udaru gama fotona u neki scintilacioni materijal, koji može biti: kristal NaJ, neki plastični kristal, jedinjenje ZnS itd, pri čemu gama zrak predaje celokupnu energiju i izaziva svetlosni blesak. Svetlosni blesak se u fotomultiplikatoru konvertuje u naponski impuls visine direktno proporcionalne energiji upadnog gama fotona.

U analizatoru visine impulsa sortiraju se energije upadnih gama zraka i formira spektar gama zračenja. Spektar gama zračenja za opseg energija od 0 - 3 MeV podeljen je na 256 "kanala" širine 12 KeV. Analiza spektra gama zračenja vrši se instrumentima gamaspektrometrima. Kalibracija gama spektrometara omogućava korišćenje podataka za kvalitativnu i kvantitativnu analizu i interpretaciju.

AGS sistemi sastoje se od detektora gama zračenja, uređaja za održavanje konstantne temperature detektora, gama spektrometra, uređaja za prikupljanje i formatiranje podataka, analognog rekordera, magnetnog rekordera, visinomera, fotokamere i različitih navigacionih sistema. Ispitivanja se sprovode na prosečnoj visini od 120 m iznad površine terena, po paralelnim pravolinijskim profilima, avionom ili krivolinijskim profilima, helikopterom. Rastojanje profila je različito, a zavisi od razmere i cilja. Za rekognosciranje terena rastojanja profila mogu biti 20, 10 ili 5 km. Pri regionalnim ispitivanjima rastojanja profila mogu biti 2, 1 ili 0,5 km. Pri detaljnim ispitivanjima rastojanja profila mogu biti 0,25, 0,20 ili 0,15 km.

Obradom podataka ispitivanja otklanjaju se uticaji osnovne radijacije, Komptonovog efekta, radona iz vazduha, promene pritiska i temperature u toku merenja i promene visine sa koje se registruju podaci. Izračunava se intenzitet gama zračenja ili sadržaj radioaktivnih elemenata u tlu za svaku merenu tačku. Svi podaci svode se na nivo 120 m iznad površine terena. Analizom podataka, statističkim metodama, izdvajaju se tačke na kojima je izmeren intenzitet gama zračenja nekog parametra viši od srednje vrednosti istog parametra za geološku sredinu kojoj pripada ta tačka, za dve ili tri standardne devijacije.

Kompleksnom analizom, više parametara, istovremeno, određuju se tačke i površine sa najpovoljnijim odnosom registrovanih podataka, statističkih veličina i potencijalnosti geološke sredine. Sintezom merenih, sračunatih i izvedenih veličina i geoloških podataka određuju se najperspektivniji prostori na kojima se mogu očekivati rudne mineralizacije različitih korisnih mineralnih sirovina.

Metoda AGS ispitivanja kod nas je uspešno primenjivana pri istraživanju radioaktivnih sirovina, olova i cinka, bakra i boksita. U literaturi su opisani uspešni pokušaji primene metode AGS ispitivanja pri istraživanju nafte i gasa.

U oblastima različitih rupturnih sklopova terena, u okviru kojih egzistiraju magmatske stene čije su formiranje pratili postmagmatski hidrotermalni rastvori, primena metode AGS ispitivanja, kao jedne od komplementarnih metoda daljinske detekcije, omogućava određivanje mineralizovanih zona, pravaca pružanja i nekih dimenzija ruptura, a u povoljnim slučajevima i pravac pada nekih geoloških tela.

Pri ispitivanju sedimentnih formacija primenom metode AGS ispitivanja određuju se, na površini terena, položaji i veličine geohemijskih i mehaničkih oreola rasejavanja. Anomalije intenziteta gama zračenja, ili sadržaja radioaktivnih elemenata, ukazuju na mogućnost postojanja geohemijske barijere u kojoj su istovremeno obarani iz rastvora radioaktivni i drugi elementi i jedinjenja.

Primena metode aerogamaspektrometrijskih (AGS) ispitivanja u okviru ekoloških proučavanja, koja imaju za cilj kontrolu i zaštitu čovekove radne i životne sredine, zasniva se na merenju intenziteta gama zračenja iz vazduha. Fizički fenomeni na kojima se zasniva primena metode AGS ispitivanja su identični kao i kod ispitivanja prirodne radioaktivnosti **gama zračenje, scintilacija i proporcionalnost amplituda izlaznih električnih impulsa na anodi fotomutiplikatora sa energijama upadnih gama fotona.**

Ekološka AGS ispitivanja gama radioaktivnosti tla baziraju se, takođe, na merenju spektra gama zračenja u 256 "kanala" u energetskom opsegu od 0-3000 KeV.

Veštačka radioaktivnost potiče od više od 2000 gama emitera stvorenih u laboratorijama, od preko 200 produkata fisije koji se stvaraju u industrijskim i vojnim nuklearnim reaktorima i od proba nuklearnog oružja.

Kontaminacija litosfere Zemlje veštačkim radioaktivnim izotopima nastala je u toku poslednjih 50 godina probama atomskog oružja u atmosferi i na tlu, eksplozijama atomskih bombi u Hirošimi i Nagasakiju i havarijama većeg broja nuklearnih reaktora. Najveća mirnodopska kontaminacija Zemlje kao planete dogodila se 1986. godine prilikom havarije nuklearnog reaktora elektrane "V.I.Lenjin" u Černobilju.

Svi radioaktivni izotopi, osim lantana-140, nastali u procesima fisije u nuklearnim reaktorima koji dospevaju na površinu litosfere, karakterišu se energijama gama zračenja nižim od 1000 KeV.

Periodi poluraspada najvećeg broja veštačkih radioaktivnih izotopa, gama emitera, koji su dospeli na površinu zemlje, a potiču iz nuklearnih reaktora, kreću se od delova sekunde, minuta i dana do najviše 30 godina.

Posle vremenskog perioda od šest meseci od trenutka kontaminacije tla fisionim produktima na površini terena egzistiraju samo cezijum-137 ($T_{1/2}$=30godina) i cezijum-134 ($T_{1/2}$=2godine).

Energetska gama linija Cs-137 je 662KeV. Energetske gama linije Cs-134 su 605 KeV i 796 KeV.

Kontaminacija tla veštačkim radioaktivnim izotopima može biti pojedinačna - "tačkasti" izvori ili površinska - "površinski" izvori.

Primer kontaminacije "tačkastim" radioaktivnim izvorima dat je za slučaj pada satelita "Kosmos-954" i radioaktivnih gromobrana sa Eu-152/154 i Co-60.

Merenjem iz vazduha intenziteta gama radioaktivnosti tla može se odrediti veličina površine, vrsta, priroda i veličina kontaminacije neke površine. Registrovan podatak spektra gama zračenja sastavljen je od tri komponente: prirodnog gama zračenja, veštačkog gama zračenja i osnovne radijacije.

Komponenta osnovne radijacije predstavlja zbir više uticaja od kojih su najznačajniji: Komptonovo rasejavanje, uticaj bizmuta-214 iz vazduha, kosmičko zračenje i zračenje letilice i instrumenata u njoj. **Podaci u "prozorima" kalijuma, urana i torijuma spektra prirodnog gama zračenja po prirodi stvari ne mogu biti opterećeni uticajem veštačkih izvora gama zračenja fisionog porekla.**

Lantan-140 poseduje energiju gama zračenja 1596 KeV, a period poluraspada od 40 h zbog čega već posle 12 dana od trenutka kontaminacije nema nikakvog uticaja na podatke registrovane u "prozorima " kalijuma i urana.

Otklanjanje komponente prirodnog gama zračenja iz podataka registrovanih u "kanalima" sa energijama gama zračenja manjim od (1000 KeV) vrši se u cilju određivanja vrste i veličine uticaja veštačkog radioaktivnog izvora.

Razdvajanje podatka, iz svakog "kanala" jednog spektra, na deo koji potiče od prirodnog i deo koji potiče od veštačkog izvora gama zračenja vrši se na dva načina.

Prvi postupak zahteva precizno poznavanje sadržaja kalijuma, urana i torijuma u tlu za svaku tačku čiji se spektar gama zračenja analizira. U prvom postupku koristi se matematička tehnika zvana faktorska analiza, odnosno analiza glavnih komponenti.

Tim postupkom određuju se glavne komponente koje formiraju izgled spektra gama zračenja za kalijum, uran i torijum koji bi istraživač registrovao na tački sa poznatim sadržajem, bez prisustva veštačkih izotopa. U postupku se određuje sumarni računski spektar gama zračenja za datu tačku i dati sadržaj. Razlika između izmerenog podatka, koji je korigovan za osnovnu radijaciju i normalizovan na odabranu visinu, i računski dobijenog podataka, za istu mernu tačku i istu visinu svođenja, predstavlja veličinu uticaja veštačkih izvora gama zračenja

Drugi postupak određivanja veličine uticaja veštačkih izvora gama zračenja koristi tehniku "Korelacije", odnosno postupak rešavanja problema primenom matrica. On se svodi na rešavanje tri linearne jednačine sa tri nepoznate, za podatke registrovane iznad kalibracionih etalona, i oderđivanje po tri koeficijenta korelacije za svaki "kanal" spektara koji je projektovan za analizu energija manjih od 1000 KeV. Određivanje veličine uticaja prirodnih izvora gama zračenja vrši se primenom koeficijenata korelacije za svaki kanal izmerenog spektra gama zračenja.

Razlika između izmerene vrednosti gama zračenja u svakom "kanalu" od 25. do 85. i izračunate vrednosti uticaja prirodnog gama zračenja za svaki kanal spektra od 25. do 85. predstavlja podatak uticaja veštačkih izvora gama zračenja.

Postupak određivanja veličine uticaja veštačkih izvora gama zračenja tehnikom "Korelacije" ne zahteva poznavanje sadržaja prirodno radioaktivnih elemenata za tačku ispitivanja zbog čega je korišćen u postupku analize podataka pri izvođenju krucijalnog opita, opisanog u monografiji.

Konstruisan je algoritam pod nazivom "Ekologija" koji je definisao formu prikupljanja podataka, način obrade, analize i prikaza rezultata.

Napisani su svi neophodni aplikativni kompjuterski programi i formiran je paket programa za rad na personalnom računaru klase PC-386.

Iznad dela površine TMK veličine 200 km^2 realizovan je krucijalni opit algoritma Ekologija.

Razvijeni su postupci za lociranje veštačkih pojedinačnih "tačkastih" radioaktivnih izvora preko količnika TC/Th.

Razvijen je postupak za precizno određivanje uzročnika svake anomalije izradom njenog spektra.

Urađene su karte deponovane aktivnosti cezijuma-137 i cezijuma-134, njihovog količnika (Cs137/Cs134) i količnika "niskih" i "visokih" (N/V) energija.

Na osnovu rezultata realizacije krucijalnog opita predložen je način kontrole životne sredine kao jedna od mogućih varijanti organizacije Monitoring sistema i mogući broj i položaj profila ispitivanja radioaktivnog gama zračenja u Srbiji.

SUMMARY

The Airborne Gamma-Ray Spectrometry - Applied in Geology and Ecology monograph is a result of author's many years lasting efforts as well as the synthesized review of both theoretic studies and results of field application of AGS exploration in the frame of natural radioactivity of different mineral raw materials exploration as well as of ecologic exploration of ground of artificial, mostly fission, origin.

The application of Airborne Gamma-Ray Spectrometry Exploration (AGS) method in the frame of geologic investigation is based on measuring, from the air, of the intensity of natural gamma radioactivity, on the identification of radioactivity anomalies as well as on the connecting of these anomalies with geochemical processes which, mostly, follow the process of radioactive and other mineral raw materials forming.

The gamma ray emission is usually parallel with (α) and (β) ray emission, resulting in the energetic altering of core, which remains in the state of induction. The gamma ray emission is realized by a core transformation into a basic, stable, energetic state. Radioactive materials spontaneously decay, disintegrate, thus forming radioactive URANIUM, THORIUM and ACTINIUM series.

Uranium and thorium themselves are not emitters of (γ) ray and couldn't be registered directly. Identification of uranium, thorium and potassium presence in the ground is performed through products of U-238 (BISMUTH-214), Th-232 (THALLIUM-208) and K (POTASSIUM-40) series disintegration. In the course of identification of U, Th and K in the ground content on the basis of identified gamma rays number, the quantity of ancestors is recorded as well, considering that there is a direct connection between quantities of ancestors and descendants in radioactive series. This assumption is valid in the state of secondary equilibrium of radioactive series only.

The AGS investigation method is based on the application of scintillation effect. Scintillation is the effect generated by the gamma photons stroke at a kind of a scintillation material such as following: NaJ crystal, some plastic crystals, ZnS compound e.t.c; in the course of which a gamma ray delivers the entire its energy causing a flash of light. A flash of light is converted in a photomultiplication unit into the power impulse of the grade directly proportionate to the interrupting gamma photon energy.

In the pulse analyzer the interrupting gamma rays energies are sorted and a gamma radiation spectrum is formed. Gamma radiation spectrum for the 0-3 MeV energy range is divided into 256 (12 Kev) wide "channels". Gamma spectrum radiation analysis is performed by the gammaspectrometers application. Gamma spectrometer's calibration enables the use of data for the purpose of both qualitative and quantitative analyses and interpretation.

AGS systems are composed of gamma radiation detectors, devices for constant detector's temperature maintenance, gamma spectrometer, device for both data collection and formation, analogue recorder, magnetic recorder, altimeter, photocamera and navigation systems range. Exploration is performed at the average height of 120 m from field surface, by the parallel profiles, by plane, or by curved profiles, by helicopter. The distance between profiles is different, depending on both proportion and target. For the purpose of reconnoitring of field distances between profiles could be 2, 1 km or 0.5 km. In the case of detailed investigation distances between profiles could be 0.25, 0.20 or 0.15 km.

By the investigation data processing the following influences are eliminated: basic radioactivity, the Compton Effect, airborne radon, pressure and temperature change in the course of measuring as well as the influence of the change of height from which data are collected. For every measuring point the intensity of gamma radiation or radioactive elements content in the ground are calculated. All data are reduced to the 120 m above the field surface level. There are set aside, by the data analyses by statistical methods application, points where the intensity of gamma radiation of certain parameter is recorded as higher than the average value of the same parameter in the geological environment of measured point, by 2 or 3 standard deviations.

By the complex analyses of more parameters at the time, points and surfaces with the most favourable relation of recorded data, statistical values as well as geological environment's potentiality are identified. By the synthesis of measured, calculated and derived both values and geological data, the most prospective areas where ore mineralization of different useful mineral raw materials could be found are identified.

The AGS exploration method has been successfully applied for the purpose of domestic radioactive raw materials (lead and zinc, copper and bauxite) exploration. Successful attempts of AGS method application in the field of oil and gas exploration are presented in the corresponding literature.

In the areas of different rupture terrain structures, in the frame of which magmatic rocks, whose forming was followed by postmagmatic hydrothermal solutions, exist, the application of AGS exploration method, as one out of complementary remote detection methods, enables the identification of mineralized zones, directions and some dimensions of ruptures as well as, in some favourable cases, directions of some geologic bodies fall.

In the frame of sediment formations investigation by the AGS method application there are identified, on the field surface, both positions and sizes of geochemical and mechanical aureoles of dissipation. The gamma radiation intensity anomalies, or anomalies of radioactive elements content, point to the possibility of existence of geochemical barrier in the frame of which simultaneously are overturned, out of solution, both radioactive and other elements and compounds.

The AGS method application in the frame of ecological exploration aiming at both environmental supervision and protection, is based on the intensity of air-borne gamma radiation measuring. Physical phenomena on which the AGS investigation method is based are identical to these applied on investigation of the natural radioactivity: gamma radiation, scintillation and proportionality of amplitudes of exit electrical pulses on photomultiplicator's anode with interrupting gamma photons energies.

Ecological AGS explorations of gamma radioactivity of ground are based on the measuring of gamma radiation spectrum in 256 "channels" in the energy range of 0-3000 KeV.

Artificial radioactivity is originated of more than 2000 gamma emitters made in laboratories, out of more than 200 fission products made in both industrial and military nuclear reactors as well as in the frame of nuclear weapons testing.

The Earth's lithosphere contamination by the artificial radioactive isotopes is caused by nuclear weapons testing, both in atmosphere and on the ground, in the course of last 50 years, by nuclear bomb explosions in Hiroshima and Nagasaki as well as by numerous nuclear accidents. The worse peacetime contamination of the planet Earth was the 1986 Chernobyl nuclear accident in the nuclear power plant "V.I. Lenin"

All radioactive isotopes, but lanthan-140, originated by fission processes in nuclear reactors, which are present on the lithosphere surface, are featured by gamma radiation energies of up to 1000 KeV.

The half-life period of most artificial radioactive isotopes, gamma emitters, generated by nuclear reactors, which have reached the ground surface, ranges from few parts of second, minute or day, up to 30 years.

Six months after the moment of soil contamination by fission products on the ground surface there are present cesium-137 (T=30 years) and cesium-134 (T=2 years) only.

Energetic gamma line of Cs-137 is 662 KeV. Energetic gamma lines of Cs-134 are 605 KeV and 796 KeV.

Ground contamination by artificial radioactive isotopes could be individual - "point" sources, or superficial - "superficial" sources.

The example of contamination by "point' radioactive sources is given as a case of satellite "Kosmos-954" fall and as radioactive lightning rod with Eu-152/154 and Co-60 as well.

By gamma radioactivity intensity measuring from the air it is possible for size, sort, nature and quantity of contamination of certain area to be measured. The registered data on gamma radiation spectrum comprise the following three components: natural gamma radiation, artificial gamma radiation and basic radiation.

The basic radiation component represents a sum of impacts out of which the most important are the following: Compton's spreading, influence of bismuth-214 from the air, cosmic radiation and radiation of both aircraft and its instruments. The data on potassium, uranium and thorium natural radiation spectrum "windows" couldn't, by their nature, be under burden of the influence of artificial fission originated gamma radiation. Lanthanum-140 is featured by the 1,596 KeV gamma radiation energy, with 40 hours half-life period. That's the reason why there's no any influence of it on the data registered in potassium and uranium "windows" 12 days after the moment of contamination.

Removing of the natural gamma radiation component from the data registered in energetic "channels" gamma radiation of up to 1000 KeV is performed for the purpose of identification of both sort and size of artificial radioactive source influence.

Data separation out of each spectrum "channel", on the part of naturally originated and on the part of artificially originated gamma radiation source is performed by two different procedures.

For the first procedure a precise knowledge of potassium, uranium and thorium content in the ground at every point of the gamma radiation spectrum analyses is required. In the frame of first procedure the mathematic Factor Analyses Technique, or key components analyses, is applied.

By that procedure are measured key components which form the gamma radiation spectrum image for potassium, uranium and thorium, which could be recorded by a research worker on the point of known content, without the artificial isotopes presence. In the frame of the procedure the total summary arithmetical gamma radiation spectrum for both given point and content is measured. The difference between measured data, which is corrected by the basic radiation and normalized at the chosen height, and arithmetically calculated data for the same measuring point and the same reducing height, represents the value of artificial gamma radiation sources impact.

The second procedure of artificial gamma radiation impact measuring requires the "Correlation Technique", i.e. the procedure of problem resolving by the matrix application. In fact, it is consisted of resolving of three linear equations with three unknowns, for the data recorded above the calibration matrixes, and of the identification of three correlation coefficients for each spectrum "channel" which is designed for the purpose of analyses of up to 1000 KeV energies. The amount of natural gamma radiation sources impact measuring is performed by the correlation coefficient application in the case of each channel of measured gamma radiation spectrum.

The difference between a measured value of gamma radiation in every "channel" from 25 to 85 and a measured value of natural gamma radiation impact for every spectrum channel from 25 to 85, represents a data on the artificial gamma radiation source impact.

For the purpose of measuring procedure of artificial gamma radiation sources value by the "Correlation Technique" it is not required any knowledge on natural radioactive elements content for the measuring point. That's why this procedure is applied in the data analyses in the course of crucial testing, which was described in the Monograph.

The "Ecology" algorithm is designed to define form of data collecting, processing, analyses as well as of presentation of results obtained.

All necessary application computer programs are designed and the program package for PC-386 is formed.

The crucial experiment of "Ecology" algorithm is realized above the part of TMK area of 200 km^2.

Necessary procedures for artificial individual "point" radioactive sources location by TC/Th quotient are developed.

The procedure of precise identification of cause of every anomaly by its spectrum is developed.

Maps of deposited activity of both cesium-137 and cesium -134, their ratio (Cs 137/Cs134) as well as ratio of both "low" and "high" (N/V) energies were made.

On the basis of the crucial experiment results the way of environmental control is suggested as one out of possible variants of Monitoring System organization. The possible number and positions of radioactive gamma radiation investigation profiles in Serbia are suggested as well.

LITERATURA

1. AERO SERVICE , ***DIGITAL PROCESSING FOR HIGH-SENSITIVITY GAMMA-RAY SPECTROMETRY,*** HUSTON TEXAS, 1980

2. ANSPAUGH R.L. CATLIN J. R. GOLDMAN M., ***THE GLOBAL IMPACT OF CHERNOBYL REACTOR ACCIDENT,*** SCIENCE, VOL. 242, 1988

3. AIETA E. M. ET AL. , ***RADIONUCLIDES IN DRINKING WATER,*** RESEARCH AND TECHNOLOGY JOURNAL, 1987

4. BENDIKS FIELD ENG.CORPORATION, ***MONITORING OF THE AIR PORT CALIBRATION PADS AT WALKER FIELD, GRAND JUNCTION, COLORADO FOR LONG-TERM RADIATION VARIATIONS,*** GRAND JUNCTION,COLORADO, 1978

5. BRISTOW Q., ***THE APPLICATION OF AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTROMETRY IN THE SEARCH FOR RADIOACTIVE DEBRIS FROM THE RUSSIAN SATELLITE COSMOS-954,*** OPERATION "MORNING LIGHT" G.S.C. OTTAWA, P 78-1B, 1978

6. BRISTOW Q., *GAMMA-RAY* ***SPECTROMETRY IN URANIUM EXPLORATION AIRBORNE INSTRUMENTATION,*** G.S.C. OTTAWA., 1979

7. BATH M., ***SPECTRAL ANALAYSIS IN GEOPHYSICS,*** ELSEVIER, NEW YORK, U.S.A., 1974

8. GRASTY R.L., ***GAMMA-RAY SPECTROMETRIC METHODS IN URANIUM EXPLORATION, (PART 2) -THEORY AND OPERATIONAL PROCEDURES ,*** GSC OTTAWA., 1979

9. GRASTY R.L. , ***FIELDS OF VEW OF AIRBORNE GAMMA-RAY DETECTORS,*** GEOPHYSICS VOL.44. N8 (AVG.1979), 1979

10. GRASTY R.L. AT AL., ***MONITORING MAN-MADE RADIATION USING A CALIBRATED 256 CHANNEL PORTABLE GAMMA-RAY SPECTROMETER,*** MONTREAL CANADA, 1992

11. GRASTY R.L. GLYNN E.J GRANT A.J., ***THE ANALYSIS OF MULTI CHANNEL AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTRA, GEOPHYSICS*** VOL. 50, PG: 2611-2620, 1985

12. GRASTY R.L. MULTALA J. , ***A CORRELATION TECHNIQUE FOR SEPARATING NATURAL AND MAN-MADE AIRBORNE GAMA-RAY SPECTRA,*** GSC, PAPER 901D, 1991

13. GRASTY R.L., HOLMAN P.B., BLANCHARD B.Y. ***TRANSPORTABLE CALIBRAT ION PADS FOR GROUND AND AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTROMETERS,*** GSC, OTTAWA, 1991

14. GEOMETRICS, ***AERIAL GAMMA-RAY AND MAGNETIC SURVEY VAN HORN AND PECOS QUADRANGLES, TEXAS, GRAND JUNCTION,*** COLORADO .U.S.A. , 1977

15. GUMMER W. K. ***"COSMOS"-954 THE OCCURENCE AND NATURE OF RECOVERED DEBRIS,*** CANADIAN GOVERNM. PUBLISHING CENTER HULL QUEBEC, CANADA., 1980,

16. GEOPHOTO SERVICE, ***THE RELATIONSHIP OF AIRBORNE GEOCHEMICAL SURVEY ANOMALIES TO HIDROTHERMAL MINERALISATION, 1***969

17. DEDAČEK K. GNOJEK I, ***THE CZECHOSLOVAK NATURAL CALIBRATION BASE FOR AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTROMETERS INSTALLED IN HELICOPTERS,*** ZBORNIK, 17, 1978

18. DICKSON B.B. BAILEY C. R GRASTY R. L., ***UTILIZING MULTI-CHANNEL AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTRA,*** CANADIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCE, VOL 18, 1981, p 1793-1801

19. DRAGANIĆ G.I. DRAGANIĆ D.Z. ADLOF P Ž., ***RADIJACIJE I RADIOAKTIVNOST NA ZEMLJI I U VASIONI,*** DEČJE NOVINE G. MILANOVAC, 1991

20. DRUŠTVO ZA MERNU TEHNIKU SRBIJE, ***JONIZUJUĆA ZRAČENJA, MERENJE I ZAŠTITA,*** ZBORNIK PREDAVANJA, BEOGRAD, 1987

21. EISENBUD M., ***ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY,*** ACADEMIC PRESS, NEW YORK, 1973

22. IVANOVIĆ M.D. , ***ATOMSKA I NUKLEARNA FIZIKA,*** NAUČNA KNJIGA, BEOGRAD, 1981

23. ***TEHNICAL REPORTS,*** SERIES No 186, I. A. E. A. , VIENNA, 1979

24. ***SURVEY OF PRESENT METHODS, IN URANIUM EXPLORATION METHOD,*** I. A. E. A. , VIENNA, 1977

25. ***THE USE OF GAMMA-RAY DATA TO DEFINE THE NATURAL RADIATION ENVIRONMENT***, TECDOC-566, I.A.E.A., 1990

26. ***CONSTRUCTION AND USE OF CALIBRATION FACILITIES FOR RADIOMETRIC FIELD EQUIPMENT,*** I.A.E.A. VIENA, 1989

27. JOBST E.J., ***THE AERIAL MEASURING SYSTEMS PROGRAM, NUCLEAR SAFETY,*** VOL.20, 1979

28. JANKOVIĆ S. , ***LEŽIŠTA METALIČNIH MINERALNIH SIROVINA,*** RGF BEOGRAD RUDARSKI INSTITUT, ZEMUN, 1967

29. JAKŽIN A. A. ***POISKI I RAZVEDKA URANOVIH MESTOROŽDENII GOSGEOLTEHNIZDAT,*** MOSKVA, 1961

30. JANKOVIĆ S. ***LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA I GENEZA RUDNIH LEŽIŠTA,*** R.G.F. BEOGRAD, 1981,

31. JANSEN M. LINDHE J C, ***ACTIVITIES OF THE SWEDISH AUTHORITIES FOLLOWING THE FALLOUT FROM THE SOVIET CHERNOBYL REACTOR ACCIDENT,*** NATIONAL INST. OF RADIATION PROTECTION, STOCKHOLM, 1986

32. KILLEN P. G., ***GAMMA-RAY SPECTROMETRIC METHODS IN URANIUM EXPLORATION APPLICATION AND IN TERPRETATION IN GEOPHYSICS AND GEOCHEMISTRY IN THE SEARCH FOR METALIC ORES,*** GSC, OTTAWA, 1979

33. LINDOW J. T. , ***HIGH PRECISION AIR-BORNE GAMMA-RAY SURVEY ,*** GEOMETRICS, CALIFORNIA, 1977

34. MELLANDER H. ***AIRBORNE GAMMA SPECTROMETRIC MEASUREMENTS OF THE FALL-OUT OVER SWEDEN AFTER THE NUCLEAR REACTOR ACCIDENT AT CHERNOBYL USSR,*** IAEA, INTERNAL REPORT, 1989

35. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O PROBNIM AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIM ISTRAŽIVANJIMA TMK,*** F.S.D. GEO-INSTITUTA, BEOGRAD, 1982

36. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O REZULTATIMA EKSPERIMENTALNIH AERO-GAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PLANINE PAPUK,*** F.S.D.GEOINSTITUTA, BEOGRAD, 1985

37. MILOJEVIĆ M. ***PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI KONTROLI ČOVEKOVE ŽIVOTNE SREDINE I ODREĐIVANJU MESTA I INTENZITETA KONTAMINACIJE VEŠTAČKIM RADIOAKTIVNIM IZOTOPIMA,*** GEOINSTITUT, BEOGRAD, 1982, ČASOPIS RADOVI

38. MILOJEVIĆ M. 1989, ***METODA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA I MOGUĆNOST NJENE PRIMENE U JUGOSLAVIJI,*** MAGISTARSKI RAD, GEOINSTITUT, F.S.D.

39. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O REZULTATIMA PROJEKTA RAZVOJA METODSKOG POSTUPKA PRIMENE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA U SLUŽBI ZAŠTITE ČOVEKOVE ŽIVOTNE SREDINE,*** GEOINSTITUT F. S. D., BEOGRAD, 1990

40. MILOJEVIĆ M. ***AEROGAMASPEKTROMETRIJSKA ISPITIVANJA PRIRODNOG I VEŠTAČKOG GAMA ZRAČENJA I EKOGEOLOŠKI ASPEKTI PRIMENE ,*** DOKTORSKA DISERTACIJA, GEOINSTITUT, F.S.D., BEOGRAD, 1989

41. MILOJEVIĆ M. ***PRIKAZ METODOLOŠKOG POSTUPKA PRVI PUT PRIMENJENOG U JUGOSLAVIJI PRI ISTRAŽIVANJU RADIOAKTIVNIH SIROVINA IZ VAZDUHA I REZULTATI AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISTRAŽIVANJA JUGOISTOČNOG DELA STARE PLANINE ,*** GEOINSTITUT, ČASOPIS "RADOVI" , 1983

42. MILOJEVIĆ M. ***RADIOMETRIJSKI KALIBRACIONI ETALONI - POTREBA ZA NJIHOVOM IZGRADNJOM KOD NAS I POSTUPAK IZRADE ,*** *GEOINSTITUT,* ČASOPIS "RADOVI" 1985.

43. MILOJEVIĆ M. ***RAČUNANJE KALIBRACIONIH KONSTANTI ZA SPEKTROMETRE GAMA ZRAČENJA PRIMENOM MATRICA,*** GEOINSTITUT, ČASOPIS "RADOVI" ,1986.

44. MILOJEVIĆ M. ***VREDNOTENJE IN EKSPLOATACIJA URANSKIH NAHAJALIŠČ,*** ŠKOFIJA LOKA, 1986.,

45. MILOJEVIĆ M. ***KOMPJUTERSKA OBRADA PODATAKA AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA,*** GEOINSTITUT, ČASOPIS "RADOVI", 1987.

46. MILOJEVIĆ M. ***PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI KONTROLI ČOVEKOVE ŽIVOTNE SREDINE I ODREĐIVANJE POLOŽAJA I VELIČINE KONTAMINACIJE TLA PRIRODNIM I VEŠTAČKIM RADIOAKTIVNIM IZOTOPIMA,*** GEOINSTITUT, ČASOPIS "RADOVI" , 1988.,

47. MILOJEVIĆ M. ***MOGUĆNOST PRIMENE METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU NAFTE I GASA,*** GEOINSTITUT, ČASOPIS "RADOVI", 1989.

48. MILOJEVIĆ M. ***PRIMENA METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU BAKRA U TIMOČKOM MAGMATSKOM KOMPLEKSU,*** XXI OKT. SAVETOVANJE U BORU, 1989.

49. MILOJEVIĆ M. ***AN EXAMPLE OF SUCCESFUL APPLICATION OF AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTROMETRY IN EXPLORING A YUGOSLAV BAUXITE-BEARING AREA.*** 52, EAEG MEETING COPENHAGEN, 1990.

50. MILOJEVIĆ M. ***MOGUĆNOST PRIMENE METODE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PRI ISTRAŽIVANJU RAZLIČITIH MINERALNIH SIROVINA,*** KONGRES GEOLOGA, OHRID, 1990.

51. MILOJEVIĆ M. ***KIŠOBRAN NAD JUGOSLAVIJOM,*** "GALAKSIJA", OKTOBAR 1989

52. MILOJEVIĆ M. ***ZAŠTITA OD RADIOAKTIVNOSTI,*** "GALAKSIJA", MAJ 1990.

53. MILOJEVIĆ M. ***EKOLOŠKA OPSERVATORIJA ,*** "GALAKSIJA", SEPTEMBAR 1990

54. MILOJEVIĆ M. ***POSLE TRIDESET GODINA,*** "GALAKSIJA", NOVEMBAR 1990

55. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O REZULTATIMA GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA RUDNOG POLJA RUDNIK,*** FSD, GEOINSTITUT, 1983

57.. MILOJEVIĆ M. S. VUKAŠINOVIĆ ***IZVEŠTAJ O AEROGEOFIZIČKIM ISTRAŽIVANJIMA LEŽIŠTA BOKSITA NA PODRUČJU VLASENICE ,*** FSD, GEOINSTITUT, 1983.

58. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O REZULTATIMA EKSPERIMENTALNIH AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA PLANINE PAPUK, ,*** FSD, GEOINSTITUT, 1984

59. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O REGIONALNIM AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIM ISPITIVANJIMA PLANINE KUKAVICE,*** FSD, GEOINSTITUT, 1986.

60. MILOJEVIĆ M. ***UPOREDNA ANALIZA METODA AERORADIOMETRIJSKIH I AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA,*** FSD, GEOINSTITUT, 1986

61. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O REZULTATIMA SINTEZE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH PODATAKA ZA TMK OD MAJDANPEKA DO BUČJA,*** FSD, GEOINSTITUT, 1988.

62. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O REZULTATIMA PROJEKTA RAZVOJA METODSKOG POSTUPKA PRIMENE AEROGAMASPEKTROMETRIJSKIH ISPITIVANJA U SLUŽBI ZAŠTITE ČOVEKOVE ŽIVOTNE SREDINE,*** FSD, GEOINSTITUT, 1990.

63. MILOJEVIĆ M. ***IZVEŠTAJ O IZVRŠENOJ PROVERI I OCENI ANOMALIJA GAMA ZRAČENJA VEŠTAČKIH TAČKASIH RADIOAKTIVNIH IZVORA Eu - 152 I Co - 60,*** FSD, GEOINSTITUT, 1991.

64. MOBERG L. ***THE CHERNOBYL FALLOUT IN SWEDEN,*** THE SWEDISH RADIATION PROTECTION INSTITUTE, 1992

65. ***RADIJACIJA DOZE, POSLEDICE, RIZICI,*** UNEP, NAJROBI, KENIJA, N O L I T, BEOGRAD, 1985

66. PARASNIS D.S. ***PRINCIPLES OF APPLIED GEOPHYSICS,*** CHARIMAN AND HAU, LONDON, 1979

67. PRAKLA-SEISMOS ***AIRBORNE GAMMA-RAY SURVEYS,*** HANNOVER, 1982

68. PRIMACK R.J. ***GAMMA-RAY OBSERVATIONS OF ORBITING NUCLEAR REACTORS,*** UNIVERSITY OF SANTA CRUZ, CALIFORNIA, 1989

69. SHARMA P.V. ***GEOPHYSICAL METHODS IN GEOLOGY,*** ELSEVIER, NEW YORK, 1986

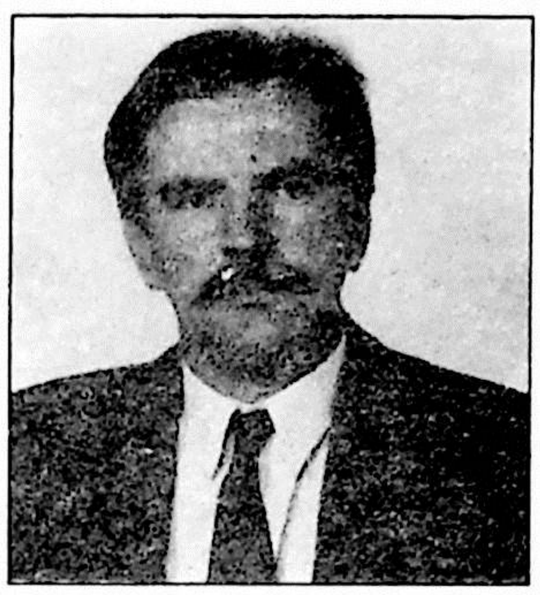
70. SAVIĆ I. ANIČIN I. ***RADIODOZIMETRIJA,*** NAUČNA KNJIGA, BEOGRAD, 1975

71. STROMSWOL D.C. ***CALIBRATION AND ERROR ANALYSIS FOR SPECTRAL RADIATION DETECTORS***, "NUCLEAR SCIENCE" VOL 25, 1978

72. TELFORD W. M. ***APPLIED GEOPHYSICS,*** CAMBRIGE UNIVERSITY PRESS, 1976

73. TEXAS INSTR.INC ***AIRBORNE GEOPHYSICAL SURVEY OF PORTION OF NEW ENGLAND***, DALAS, 1976

O autoru



Dr Milan MILOJEVIĆ docent je na Katedri za geofiziku Rudarsko - geološkog fakulteta. Rođen je u Zemunu 10.12.1949. god. Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu završio je 1975. godine na grupi za primenjenu geofiziku geološkog odseka, odbranom diplomskog rada **Geoelektrična ispitivanja u okolini Vranja primenom metoda specifične električne otpornosti i izazvane polarizacije.**

Od 1975. godine radi u Geoinstitutu, u kojem do 1979. godine učestvuje u realizaciji niza geofizičkih projekata, u domenu geoelektričnih, radiometrijskih i terestričkih geomagnetskih ispitivanja. U martu 1979. godine počeo je da uvodi u primenu metodu AEROGAMA-SPEKTROMETRIJSKIH (AGS) ispitivanja. U tom cilju od jula 1980. godine do kraja januara 1981. godine boravi u Kanadi na stručnom usavršavanju u organizaciji Agencije za Atomsku Energiju (IAEA). Po povratku sa specijalizacije vodi niz projekata na istraživanju različitih mineralnih sirovina primenom metode AGS ispitivanja, kao što su istraživanja urana, bakra, boksita, olova i cinka.

Na Katedri za Geofiziku, Rudarsko-geološkog Fakulteta odbranio je 1989. godine magistarski rad **Metoda aerogamaspektrometrijskih ispitivanja i mogućnost njene primene u Jugoslaviji.** *Podstaknut havarijom u Černobilju, proučava mogućnost primene metode AGS pri ekolškim proučavanjima. U toku 1990. godine, projektuje i realizuje eksperimentalna ispitivanja koja su poslužila za formiranje metodskog postupka primene AGS u ekologiji. Rezultati tih ispitivanja dali su osnov za izradu doktorske disertacije pod nazivom* **Aerogamaspektrometrijska ispitivanja prirodnog i veštačkog gama zračenja i ekogeološki aspekti primene,** *koju je odbranio na Rudarsko-geološkom fakultetu u januaru 1993. godine. U disertaciji je razradio kompletan algoritam primene metode AGS ispitivanja u okviru kontrole i zaštite čovekove životne sredine, koji je podržan paketom računarskih programa. Predložio je jednu od mogućih varijanti sistema* **Monitoringa radioaktivnosti** *koji bi se formirao na jugoslovenskom nivou, a koji bi se, kao u nizu zemalja, bazirao na primeni metode AGS ispitivanja.*

Autor i danas kao istraživač, predavač i direktor Geoinstituta radi na proširivanju primene metode AGS ispitivanja i uvođenju novih, do sada nekorišćenih, postupaka analize spektra gama zračenja, čiji bi se rezultati koristili u okviru geoloških istraživanja i ekoloških proučavanja.

"Radovi" Geoinstituta,
posebna izdanja: knjiga 13
IZDAVAČ,
Geoinstitut, Beograd, Rovinjska 12

Za izdavača:
dr Milan Milojević, direktor Geoinstituta

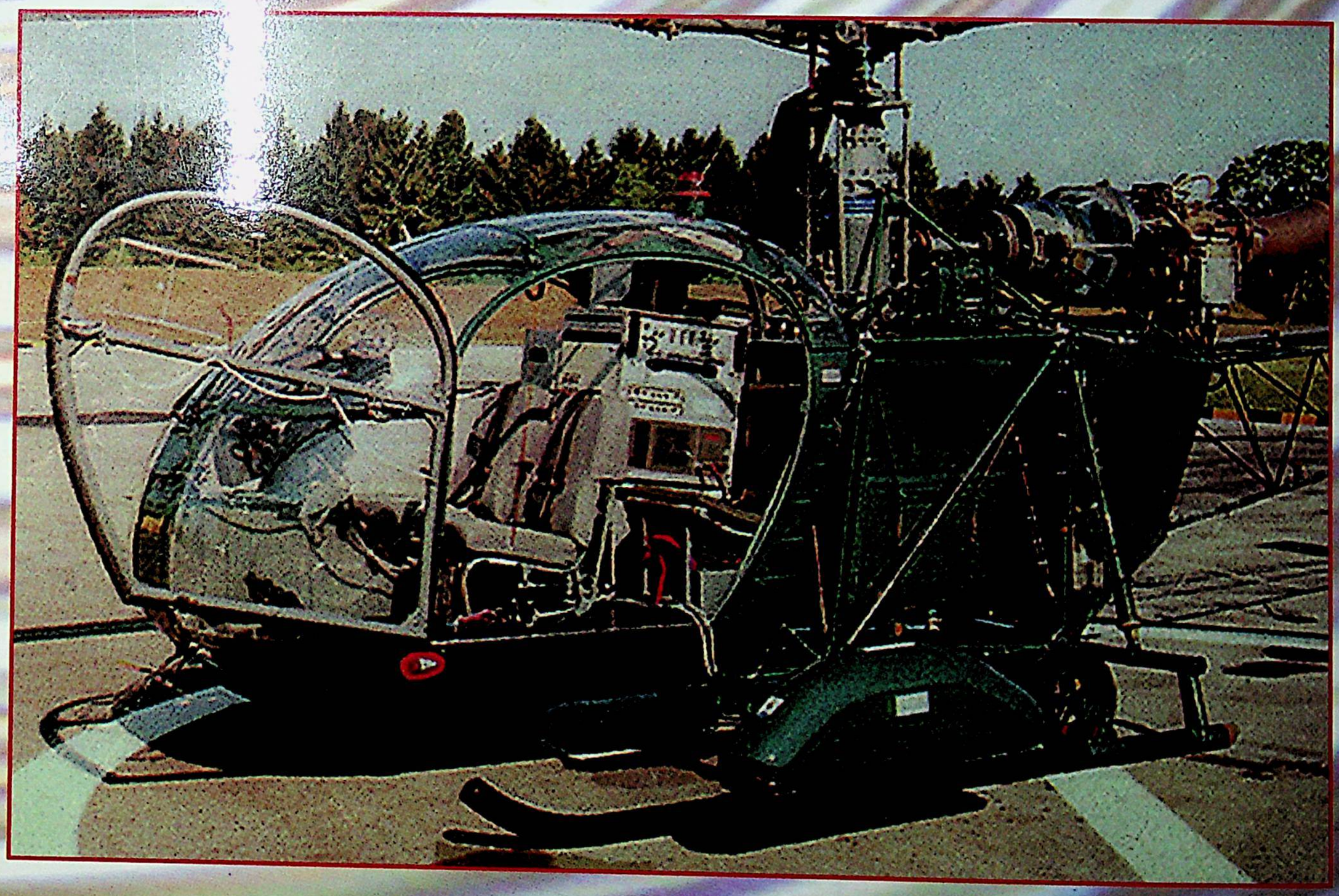
Kompjuterski prelom teksta i grafička obrada: Aleksandar OBRENOVIĆ

Tiraž 500 primeraka
Štampano: juna, 1995. godine

Do sada je postojala mogućnost da se radioaktivnost kontaminiranih područja meri jedino na osnovu sakupljenih uzoraka tla i ispitivanja u laboratoriji. Nedostatak ove metode bila je pojava ogromnih skokova izmerenih vrednosti na rastojanju od svega nekoliko metara.

Aerogamaspektrometrija o kojoj govori ova knjiga je nova metoda ispitivanja prirodnog i veštačkog gama zračenja iz vazduha, koja omogućava monitoring velikih teritorija sa izotopskom analizom kontaminacije.Ona ima poseban ekološki značaj, jer jedina omogućava brzo i pouzdano snimanje i interpretaciju stanja u slučaju većih havarija nuklearnih postrojenja.

Oprema za izvođenje ove metode montira se na helikopter. Na nosaču, koji se nalazi spolja, smešteni su radarski visinomer, scintilacioni detektori i videokamere. U kabini se nalaze još dva detektora, kao i uređaj za opsluživanje i indikaciju. Drugi video uređaj konstantno evidentira putanju koju letilica prelazi.



U okviru ove metode autor je na svetskim i domaćim iskustvima razvio originalni algoritam EKOLOGIJA, koji omogućava precizno merenje prirodne radioaktivnosti (uran, kalijum, torijum i ukupan zbir), kao i odvojeno utvrđivanje i merenje uticaja veštačkih izotopa (Cezijum Cs-137 i Cs-134, Kobalt Co-60 i Europijum Eu-152). To omogućava ne samo ispitivanje akcidentne radioaktivnosti, već i istraživanja različitih mineralnih i energetskih resursa, geotermalne studije, kao i geološko kartiranje.