

Prospekcija radioaktivnih kamenin v Sloveniji

Veljko Omaljev

Z 10 slikami med tekstem

Vsebina

Uvod	161
Radioaktivni elementi v kameninah	162
Kalij	162
Torij	162
Uran	163
Metode radiometrične prospekcije	164
Radiometrična prospekcija v Sloveniji	166
Ocena raziskanih nahajališč v Sloveniji na podlagi anomalne radioaktivnosti	166
Posavske gube	168
Idrija	168
Cerkno	170
Žirovski vrh	170
Rovte	176
Škofja Loka	176
Trojanska antiklinala	178
Litijska antiklinala	179
Karavanke	179
Kočevska kotlina in Črnomaljska plošča	182
Radiometric prospecting in Slovenia	184
Literatura	185

Uvod

V kameninah in vodi zemeljske skorje so stalno prisotni tudi radioaktivni elementi v obliki raznih mineralov in raztopin. Na oko jih bolj redko najdemo. Zaznamo jih pa na zemeljskem površju z ustreznimi merilnimi instrumenti za registracijo energije in delcev, ki se sproščajo ob razpadanju njihovih atomskih jeder. Po jakosti radioaktivnega sevanja ocenjujemo koncentracijo radioaktivnih elementov v kamenini in vodi. Pri tem moramo vedeti, kolikšni so povprečni ali Clarkovi odstotki posameznih elementov v določenem okolju in kakšna je skupna jakost njihovega sevanja, ki jo imenujemo naravno radioaktivno ozadje. Upoštevati pa moramo tudi vpliv kozmičnega sevanja. Če nam merilni instrument pokaže višje vrednosti sevanja, kot ustreza naravnemu radioaktivnemu

ozadju, govorimo o radioaktivnih anomalijah. Ta pojav so geologi izkoristili za odkrivanje nahajališč nuklearnih surovin.

V tem delu bomo dali kratek pregled radiometrične prospekcije v Sloveniji in preliminarno ocenili pomen anomalij, izmerjenih na nekaterih krajih v določenih geoloških formacijah. Za končno oceno pa je potrebno raziskave nadaljevati.

Radioaktivni elementi v kameninah

Redki so elementi, katerih izotopi so vsi radioaktivni. To so npr. torij, radij in uran. V največ primerih je glavni izotop elementa stabilen, npr. ogljik, kalij in svinec. Pomembni radioaktivni izotopi v kameninah so produkt razpadanja naslednjih treh elementov: kalija, torija in urana. Clarkovi odstotki drugih radioaktivnih elementov so nizki; njihov delež v radioaktivnosti kamenin je tako majhen, da ga pri ocenjevanju lahko zanemarimo.

Kalij

Naravni kalij sestoji iz treh izotopov: ^{39}K (93,08 %), ^{40}K (0,0119 %) in ^{41}K (6,91 %). Radioaktiven je ^{40}K , ki ga je količinsko najmanj. Njegova razpolovna doba je $1,27 \times 10^9$ let. Ob razpadanju oddaja v 89 % primerov beta žarke in prehaja v stabilni izotop kalcija ^{40}Ca . V 11 % primerov oddaja ob razpadanju tudi gama žarke velike energije. Beta žarki so slabo prodorni in povzročajo nizko stopnjo ionizacije, gama žarki pa imajo veliko prodorno moč. Radioaktivnost kamenin na podlagi tega kalijevega izotopa ima majhno intenziteto.

Kalij je v zemeljski skorji zelo razširjen. Največ ga je v kislih alkalnih kameninah. Njegov odstotek pada, če se znižuje odstotek kremenice. V bazičnih in ultrabazičnih kameninah ga praktično ni. Ob razpadanju kislih magmatskih kamenin ne potuje ves kalij do morja. V glavnem ga prej absorbirajo kaolinski minerali. Clarkov odstotek kalija v granitih je okrog 4 %, radioaktivnega ^{40}K je torej okrog 5 ppm. Povprečje radioaktivnega kalija v kameninah je 2 do 3 ppm. Naravno radioaktivno ozadje kamenin, ki izvira od kalija, pride do izraza samo v kislih magmatskih kameninah. Jakost radioaktivnosti kamenin, ki vsebujejo 1 % kalija, je $2 \mu\text{R/h}$.

Torij

Naravni torij ima atomsko težo 232,12 in sestoji iz izotopov z atomskimi težami 227, 228, 230, 232 in 234; prevladujejo težji izotopi. Glavni sestavni del naravnega torija je ^{232}Th , ostali štirje izotopi so produkt radioaktivnega razpada urana in torija. Med njimi je najbolj razširjen ^{234}Th , ki je neposreden potomec ^{238}U .

V zemeljski skorji je torij zelo razširjen, Clarkovo povprečje znaša 10 ppm. Največ ga je v kislih in intermediarnih magmatskih kameninah ter v produktih kontaktno pneumatolitskih procesov. Po preperevanju magmatskih kamenin potuje torij le v obiki detritusa in pride v morje v suspenziji. V klastičnih sedimentih se nahaja torij najbolj pogosto v fragmentih magmatskih kamenin. Clarkovo povprečje torija v magmat-

skih kameninah je 10 do 20 ppm, povečini pa 12 do 15 ppm. V kemičnih usedlinah ga praktično ni.

Radioaktivno razpadanje Th^{232} je komplicirano, ker so novonastali izotopi tudi radioaktivni. Th^{232} ima 10 radioaktivnih potomcev, končni produkt pa je stabilen izotop svinca ${}_{82}\text{Pb}^{208}$. Th^{232} ima najdaljšo razpolovno dobo med vsemi naravnimi radioaktivnimi elementi: $1,42 \times 10^{10}$ let. Razpolovne dobe njegovih potomcev pa so kratke; najdaljša je 6,7 dni, ki jo ima njegov neposredni potomec ${}_{88}\text{Ra}^{228}$. Torij hitro vzpostavi radioaktivno ravnotežje — že v desetih letih, in je v kameninah vedno v ravnotežju s svojimi potomci. Radioaktivnost kamenin z 10 ppm Th^{232} je $4 \mu\text{R/h}$. Zaradi visokega Clarkovega odstotka je torij najpomembnejši povzročitelj radioaktivnosti kamenin.

Uran

Naravni uran je v glavnem zmes U^{235} (0,71 %) in U^{238} (99,28 %), medtem ko je U^{234} potomec U^{238} in ga je v prirodi samo 0,01 %. Tudi uran je v kameninah precej razširjen. Clarkovo povprečje v zemeljski skorji je 3 ppm. Največ ga je v kislih in intermediarnih magmatskih kameninah, v bazičnih in ultra bazičnih pa ga je zelo malo, kar kaže naslednji pregled:

kisle kamenine 3,5 do 7 ppm, povprečno 4 ppm
srednje kisle kamenine 1,4 do 5,6 ppm, povprečno 2 ppm
bazične kamenine 0,2 do 1,8 ppm, povprečno 0,6 ppm
ultrabazične kamenine 0,003 do 0,08 ppm

Clarkovo povprečje urana v magmatskih kameninah ni stalno, nekatere kisle (alkalne) predornine ga vsebujejo več deset do sto ppm.

Pri preperevanju kamenin se štirivalentni uran v vodi oksidira in prehaja v uranil ion.



Štirivalentni uran se v vodi težko topi, šestvalentni pa je v obliki uranil iona v vodi lahko topljiv in v ugodnem okolju potuje v morje. Geokemična pot urana se torej razlikuje od torijeve in kalijeve; torij se prenaša v glavnem v mehaničnem detritusu, kalij pa se absorbira v glinah. Uranil ion ima velik radij, precej večji kot drugi dvovalentni kationi. Zato že pri najnižjih koncentracijah nastajajo sekundarni uranovi minerali. Rad se veže z anioni PO_4^{3-} , VO_4^{3-} , AsO_4^{3-} in SiO_2 v težkotojne spojine.

V redukcijskem okolju se uran tudi lahko reducira, posebno v prisotnosti žveplovega vodika. V supergenetskem okolju se uran obori iz vode na ta način, da negativno naelektreni koloidi (silikati, manganovi hidroksidi, minerali glin in humus) adsorbirajo uranil ion. Pomembna je adsorbcija v organskih snoveh, zlasti v bitumenskih.

Glavni izotop urana ${}_{92}\text{U}^{238}$ oddaja α žarke. Njegova razpolovna doba je $4,5 \times 10^9$ let. Njegovi radioaktivni potomci oddajajo α in β žarke z različno intenziteto gama sevanja. Neposredni potomec je Th^{234} z razpolovno dobo 24,1 dni. Naslednji člen je U^{234} z dolgo razpolovno dobo $2,48 \times 10^5$ let brez gama sevanja. Najmočnejše gama sevanje imajo Ra^{226} ($1,62 \times 10^3$ let),

Pb²¹⁴ (26,8 minut) in Bi²¹⁴ (19,7 minut). Radioaktivno ravnotežje celotnega niza se vzpostavi v dolgi geološki dobi okrog 1 milijona let. Radioaktivno ravnotežje med U²³⁸ in Ra²²⁶ je eden izmed kriterijev za oceno gospodarskega pomena uranovega nahajališča.

Tudi U²³⁵ oddaja α žarke ob močnem gama sevanju. Razpolovna doba tega očeta radioaktivne družine je sorazmerno kratka — znaša 7×10^8 let. To je razlog, da ga je v naravnem uranu količinsko malo. Razen neposrednega potomca Pa²³¹ ($3,43 \times 10^4$ let) imajo vsi drugi radioaktivni potomci kratke razpolovne dobe. Večina členov te radioaktivne vrste oddaja močno gama sevanje. Končni produkt radioaktivnega razpada U²³⁵ je stabilen Pb²⁰⁸. Radioaktivno ravnotežje se vzpostavi v kratki geološki dobi okrog 35 000 let.

Naravni uran je v ravnotežju s svojimi radioaktivnimi potomci pomemben vir radioaktivnosti kamenin. Ekvivalentni količini urana za elementarno količino sevanja sta za torij 0,27 in za kalij $1,52 \times 10^{-4}$. Uran je precej bolj radioaktiven kot drugi radioaktivni elementi. Kamenina z 10 ppm urana ima jakost sevanja 10 μ R/h.

Jakost kozmičnega sevanja na zemeljskem površju je do 6 μ R/h. Za oceno radioaktivnosti kamenine ali določene geološke litološke enote moramo ugotoviti parcialna sevanja, ki so posledica Clarkovih povprečij torija, urana in kalija. V ta namen je treba določiti vsebnost teh elementov v kamenini.

Metode radiometrične prospekcije

Naravno radioaktivnost kamenin merimo z ustreznimi terenskimi instrumenti, npr. Geiger-Müllerjevimi števci ali s scintilometri. Razlikujemo regionalno, poldetajlno in detajlno radiometrično prospekcijsko.

Regionalna prospekcijska raziskuje radioaktivnost geoloških formacij in ugotavlja naravno radioaktivno ozadje na širšem prostoru v majhnem merilu, 1 : 25.000 ali še manjšem. Po rezultatih meritev se ocenjujejo posamezne geološke formacije glede na možnost nastopanja uranovih in torijevih nahajališč.

Poldetajlno radiometrična prospekcijska je omejena na manjši prostor. Določene geološke litološke enote raziskujemo v merilih 1 : 5000 do 1 : 10 000 tako na gosto, da zanesljivo najdemo radioaktivne anomalije, če obstajajo.

Z detajlno prospekcijsko kontroliramo najdene anomalije. Merimo sistematično po zelo gosti mreži. Vzporedno izvajamo razkope, manjša rudarska dela in plitvo vrtnanje. Če pri tem najdemo rudni izdanek, postane anomalija radioaktivnosti rudna anomalija. Po rezultatih detajlne prospekcijske končno ocenimo pojav anomalne radioaktivnosti.

Metode radiometrične prospekcije so naslednje:

Peš prospekcijska. Prednost te metode je v neposrednem stiku prospektorja s kameninami; instrument se prisloni na kamenino. Pri tem je možno meritve detajlirati brez dodatnih del.

Ta metoda je poceni in daje dobre rezultate posebno na odkritih terenih ter v koritih rek in potokov. Uporabna je kot regionalna, poldetajlno in

detajlna. Druge metode (avionska in avtomobilska) se pogosto dopolnjujejo s peš prospekcijsko.

Avtomobilska prospekcija. Radiometer, montiran na terensko vozilo, omogoča merjenje radioaktivnosti po poteh. Ta metoda je enostavna in tudi poceni, vendar je neugodno to, da je uporabna samo po prevoznih trasah. Zato se uporablja le v regionalnem in poldetajlnem obsegu na terenih z gosto mrežo poti.

Avionska prospekcija. Posebni radiometri se montirajo na letala in helikopterje. Ta metoda je uporabna predvsem za regionalno prospekcijsko velikih površin, vendar je zelo draga. Letala so primerna le za prospekcijsko ravnih površin. Najdražja metoda je helikopterska, ki se uporablja na goratem ozemlju. Anomalije radioaktivnosti kontroliramo po drugih metodah.

Merjenje radioaktivne emanacije. V družinah radioaktivnih elementov Th^{232} , U^{235} in U^{238} je eden izmed članov plemeniti plin radon, ki sestoji iz treh izotopov. Najbolj razširjen je Rn^{222} , ki je potomec U^{238} , in ima razpolovno dobo 3,82 dni, kar zadostuje, da lahko potuje precej daleč po razpokah v kameninah, zemljiščih in podzemeljski vodi. Nasprotno pa ima Rn^{219} , ki je potomec U^{235} , zelo kratko razpolovno dobo 3,92 sekunde in ga je v naravi zelo malo. Nekoliko bolj razširjen je potomec Th^{232} toron Rn^{220} . Ima razpolovno dobo 52 sekund in ne potuje daleč, nabere pa se ga toliko, da nastane plinska avreola precejšnje koncentracije.

Navzočnost radona in njegovih radioaktivnih potomcev ugotavljamo tako, da iz določene globine zemljišča vsrkamo z ustrezno sondo zrak v ionizacijsko celico. Po stopnji ionizacije v določenem času sklepamo na izotopno sestavo in koncentracijo radona. Toron vzpostavi ravnotežje s svojimi potomci že v treh minutah, radon pa potrebuje za to tri ure.

Merjenje radioaktivne emanacije se redko uporablja kot raziskovalna metoda za regionalno prospekcijsko, bolj pogosto pa pri poldetajlni in detajlni prospekcijski po profilih. Ta metoda daje dobre rezultate v zmerno vlažni klimi.

Gama sondiranje. Po tej metodi merimo radioaktivnost v plitvih sondah v deluviju, zlasti radioaktivnost mehaničnih avreol na rudnih izdankih. Merimo le do določene globine, ali pa do različnih globin. Klima na to metodo ne vpliva v večji meri, vendar je globlje sondiranje v večjih sušah oteženo.

Za regionalno prospekcijsko se gama sondiranje redko uporablja, ustreza pa za poldetajlno in detajlno prospekcijsko zlasti na pokritih terenih, kjer s peš prospekcijsko ne dobimo dobrih rezultatov.

Prospekcijska spotoma. V prvih dneh prospekcijske urane so na široko organizirali tako imenovano lovsko prospekcijsko. Terenskim delavcem (geologom, rudarjem, gozdarjem, poljedelcem in dr.) so dali Geiger-Müllerjeve števec, da bi pri svojem rednem delu merili tudi radioaktivnost. Od časa do časa so jih obiskovali strokovnjaki in kontrolirali prijavljene pojave radioaktivnosti. Tudi danes geologi in ljudje drugih poklicev merijo radioaktivnost spotoma, ko kartirajo ali opravljajo druga terenska dela. Sem štejemo tudi revizijo rudarskih del, tj. meritve radioaktivnosti

v jamskih prostorih obratujočih in dostopnih rovih opuščenih rudnikov in premogovnikov. Prav tako spotoma opravijo gama karotiranje globokih raziskovalnih vrtin, ki jih sicer vrtajo v druge namene, npr. za raziskavo plinskih in naftnih nahajališč.

Radiometrična prospekcija v Sloveniji

Takoj po drugi svetovni vojni so tudi v Sloveniji pričeli iskati nuklearne surovine. Pri reviziji slovenskih rudnikov so v Idriji izmerili zvišano radioaktivnost skrilavca skonca. V letih 1951 in 1952 so v idrijski okolici do Škofje Loke izvedli regionalno in poldetajlno peš prospekcijsko, vendar ugodnih rezultatov niso dosegli.

Leta 1953 so našli zvišano radioaktivnost premoga v Kočevju, Kanižarici in Vremskem Britofu. Še istega leta so pričeli s poskusnim kurjenjem radioaktivnega premoga v treh podjetjih, ki so se obvezala, da bodo shranjevala pepel. Sistematično je bil raziskan premogovnik Kočevje. Leta 1957 so z raziskavami prenehali, ker ni bilo rešeno vprašanje predelave uranskega premoga v koncentrat.

Prvi pomemben uspeh na področju raziskav jedrskih surovin v Sloveniji je prinesla radiometrična prospekcija grödenskega peščenjaka na Žirovskem vrhu leta 1960. Z razkopi in kratkimi rovi so našli prve rudne pojave. Naslednje leto so nadaljevali z rudarskimi raziskavami in vrtnjem. Prav tako so nadaljevali poldetajlno radiometrično prospekcijsko na območju Žirovski vrh—Praprotno—Zminec—Škofja Loka. Uporabili so metode peš prospekcijske, radioaktivne emanacije in gama sondiranja, da bi ugotovili najustreznejšo metodo za detajlno prospekcijsko glede na klimo.

Leta 1962 so izvedli poldetajlno prospekcijsko proti Sovodnji in Cerknemu. Pri tem so raziskali tudi območje kremenovega porfirja. Na Žirovskem vrhu so nadaljevali poldetajlno in detajlno prospekcijsko z gama sondiranjem in manjšimi razkopi.

V letu 1963 so poldetajlno raziskali granitni masiv Črne in njegov pokrov. Na krajih anomalne radioaktivnosti so še istega leta pričeli z detajlno prospekcijsko, ki so jo končali naslednje leto. Nato so glavne raziskave koncentrirali na Žirovskem vrhu. Drugod so le spotoma izvajali prospekcijsko rudnikov in gama karotiranje vrtin, zlasti v grödenskem peščenjaku.

Ocena raziskanih nahajališč v Sloveniji na podlagi anomalne radioaktivnosti

Doslej so v Sloveniji našli zvišano radioaktivnost v sedimentih mlajšega paleozoika. Starejši sedimenti so v Sloveniji le malokje odkriti in ne kažejo radioaktivnih pojavov.

Kisle in intermediarne magmatske kamenine so na splošno možni nosilci jedrskih snovi. Intruzivne kamenine je erozija odkrila na Pohorju in v Črni na Koroškem. Te globočnine spremljajo mlajše predornine in tufi.

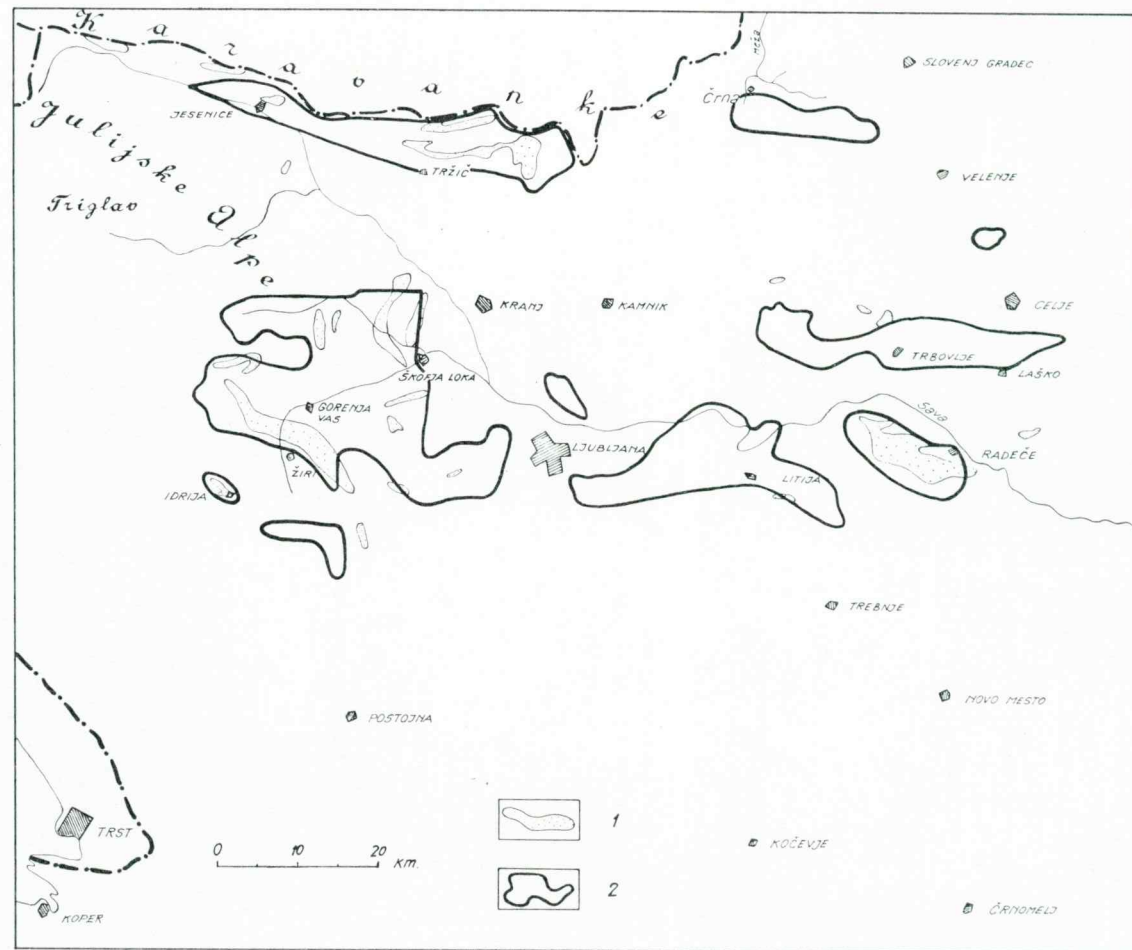
Med predorninami je zanimiv kremenov porfir v okolici Cerknega, ker ima z njim lahko genetsko zvezo uranova ruda na Žirovskem vrhu.

Sl. 1. Skica radio-
metrično raziska-
nih delov Slove-
nije

1 grödenske plasti
2 raziskano območje

Fig. 1. Sketch map
showing the areas
of Slovenia pro-
spected by radio-
metric methods

1 Gröden beds
2 Prospected area



Tudi terciarni sedimenti so možni nosilci urana in torija, vendar je v primerjavi z mladopaleozojskimi verjetnost njihovega orudenja manjša. Zato jih doslej niso raziskovali v večjem obsegu.

V naslednjih poglavjih bomo podali nahajališča z zvišano radioaktivnostjo ne glede na geološko starost in sestavo kamenin. Pregled smo sestavili po naslednjih tektonskih enotah: Posavske gobe, Karavanke ter Kočevska kotlina in Črnomaljska plošča (sl. 1).

Posavske gube

Tektonska enota Posavskih gub obsega osrednji del Slovenije od Idrije prek Žirovskega vrha, Skofje Loke, Trojan in Litije ter Laškega in Krškega do hrvatske meje, kjer jo prekrivajo najmlajši sedimenti. Njihovo jedro sestoji iz mladopaleozojskih skladov. Grödenske plasti prihajajo na površje na mnogih krajih in v njih so zlasti v zahodnem delu Posavskih gub izmerili številne anomalije radioaktivnosti.

Idrija. V jami idrijskega rudnika so večkrat ponovili radiometrične raziskave. Takoj v začetku so ugotovili, da je skrilavec skonca 5 do 10-krat bolj radioaktiven kot druge kamenine idrijskega rudišča. Jakost njegove radioaktivnosti znaša 50 do 320 $\mu\text{R/h}$, ponekod doseže celo 700 $\mu\text{R/h}$. Meritve kažejo, da je talninski del plasti skrilavca bolj aktiven kot krovniški. Bolj ali manj je skrilavec skonca aktiven na vseh obzorjih rudnika. Tudi zvišana radioaktivnost stare žlindre, nakopičene iz topilnice, verjetno izvira od tega skrilavca. Toda na površju v Zaspani grapi ni pokazal zvišane radioaktivnosti. Posamezni vzorci iz jame pa so vsebovali do 0,2 % U. Zato so v letih 1953 do 1957 odkopavali kamenino z aktivnostjo nad 100 $\mu\text{R/h}$ kot uranovo rudo. Skupno so odkopali okrog 1657 ton radioaktivnega skrilavca. Celotne zaloge skrilavca v Idriji so ocenili na več milijonov ton, pri raziskovanju in pridobivanju živosrebrne rude pa so odkopali okrog 1 milijona ton.

Uran in torij sta v Idriji v radioaktivnem ravnotežju s svojimi potomci.

Skrilavec sestoji iz hišic radiolarij in železnate bituminozne snovi ter vsebuje pirit in cinabarit. Njegova radioaktivnost ni v zvezi s cinabaritom. Verjetno je uran prišel v skrilavec skonca singenetsko.

Na 10. obzorju so izmerili visoko anomalijo 10 000 $\mu\text{R/h}$ (M. Vujić, 1963), ki jo je povzročila smolnata uranova ruda neposredno na kontaktu skrilavca skonca in dolomita. Drobci rude so bili veliki 1 cm.

Kamenine v idrijskem rudišču kažejo naslednje stopnje radioaktivnosti:

dolomit	12 do 20 $\mu\text{R/h}$
tuf	25 do 30 $\mu\text{R/h}$
konglomerat	15 do 25 $\mu\text{R/h}$
skrilavec	30 do 50 $\mu\text{R/h}$
skrilavec skonca	50 do 320 $\mu\text{R/h}$, ponekod še več.

V idrijski jami so našli tudi sivi grödenski peščenjak, ki je pa drugačen kot na Žirovskem vrhu. Je dobro sortiran in cementiran. Odložen je bil verjetno dlje od obale. Zvišane radioaktivnosti ne kaže.

1 glavni dolomit (zgornja triada), 2 apnenec (zgornja triada), 3 tufski peščenjak in skrilavec (srednja in zgornja triada), 4 werfenske plasti (spodnja triada), 5 apnenec in dolomit (zgornji perm), 6 grödenske plasti (srednji perm), 7 glinasti skrilavec in peščenjak (srednji ali zgornji karbon), 8 kremenov porfir, 9 anomalije radioaktivnosti

1 upper dolomite (Upper Triassic), 2 limestone (Upper Triassic), 3 tuffaceous sandstone and shale (Middle and Upper Triassic), 4 Werfenian beds (Lower Triassic), 5 limestone and dolomite (Upper Permian), 6 Gröden beds (Middle Permian), 7 shale and quartz sandstone (Middle or Upper Carboniferous), 8 quartz porphyry, 9 radiometric anomalies



Sl. 2. Geološka karta z anomalijami radioaktivnosti v okolici Cerknega

Fig. 2. Geologic map showing the radiometric anomalies in Cerkno area

Zanimiv je pojav zvišane radioaktivnosti v Ravenski (Čelikovi) jami nad Želinjem. Ob vходу v jamo znaša radioaktivnost dolomita 40 do 50 $\mu\text{R/h}$, v zgornjem delu jame okrog 18 $\mu\text{R/h}$, v spodnjem delu jame pa 200 do 350 $\mu\text{R/h}$. Radioaktivnost prepererelega dolomita je tem večja, čim dlje gremo v jamo.

Cerkno. Pri Cerknem se začne pas grödenskega peščenjaka, ki se vleče proti vzhodu in jugovzhodu prek Sovodnji in Žirovskega vrha do Smrečja. Zahodno od Cerknega se nahaja predornina in njen tuf. Radiometrična prospekcijska je obsegla grödenske sklade zahodno od Poljanske Sore ter sosednje geološke formacije vključno kremenov porfir in tuf.

Najnižjo radioaktivnost kažejo sosednje kamenine, dolomit in apnenec 5 do 7 $\mu\text{R/h}$, glinasti skrilavec z vložki peščenjaka in konglomerata pa 6 do 8 $\mu\text{R/h}$. Grödenski peščenjak in skrilavec sta nekoliko bolj radioaktivna: rdeč 7 do 9 $\mu\text{R/h}$ in siv 10 do 12 $\mu\text{R/h}$. Podobno radioaktivnost imajo rabeljske plasti (9 do 11 $\mu\text{R/h}$). Bolj radioaktivna sta kremenov porfir in njegov tuf (14 do 16 $\mu\text{R/h}$).

Pri Fužinah so našli bloke sivega peščenjaka z radioaktivnostjo do 100 $\mu\text{R/h}$. Vzorec so analizirali in dobili 0,03 % urana. Očitno bloki niso mogli priti od daleč, vendar ustreznega izdanka niso našli.

V kremenovem porfiru zahodno od Cerknega in vzhodno od Novakov (sl. 2) so ob razpokah, zapolnjenih z limonitiziranim in kaoliniziranim materialom, izmerili na več krajih radioaktivnost 30 do 35 $\mu\text{R/h}$. Improvizirane detajlne meritve na nekaterih krajih so pokazale, da se radioaktivnost zmanjšuje z naraščajočo globino. Indikacija smolnate uranove rude v kremenovem porfiru kaže na možnost, da se v tej predornini najde uranova ruda.

Žirovski vrh. Žirovski vrh sestoji večidel iz mladopaleozojskih sivih in rdečih grödenskih plasti ter glinastega skrilavca, ki tektonsko leže na triadnem skrilavcu in dolomitu. Sive plasti sestojijo iz peščenjaka in konglomerata in vsebujejo uranovo rudo. Radioaktivnost sosednjih plasti (dolomita in rabeljskega skrilavca) je navadno pod 10 $\mu\text{R/h}$; skrilavec je bolj aktiven.

Clarkovo povprečje radioaktivnih elementov v grödenskih plasteh (S. G o j k o v i ć, 1964) je naslednje:

1. rdeči peščenjak na podlagi 90 vzorcev iz vrtin:

Uran	$2,26 \pm 0,07 \text{ ppm}$
torij	$12,42 \pm 0,36 \text{ ppm}$
kalij	$2,14 \pm 0,21 \text{ ppm}$

Ekvivalentna radioaktivnost kamenin rdečih plasti, izračunana na podlagi tega povprečja je:

za uran	2 $\mu\text{R/h}$
za torij	5 $\mu\text{R/h}$
za kalij	4 $\mu\text{R/h}$
skupaj	11 $\mu\text{R/h}$ + kozmično sevanje

2. sivi peščenjak na podlagi 111 vzorcev iz vrtin:

uran $5,76 \pm 0,26$ ppm, kar ustreza $6 \mu\text{R/h}$

torij $7,84 \pm 0,29$ ppm, kar ustreza $3 \mu\text{R/h}$

kalij $1,61 \pm 0,06$ ‰, kar ustreza $3 \mu\text{R/h}$

$12 \mu\text{R/h} + \text{kozmično sevanje}$

sivi peščenjak s površja na podlagi 36 vzorcev:

uran $4,41 \pm 0,36$ ppm, kar ustreza $4 \mu\text{R/h}$

torij $7,82 \pm 0,52$ ppm, kar ustreza $3 \mu\text{R/h}$

kalij $1,66 \pm 0,14$ ‰, kar ustreza $3 \mu\text{R/h}$

$10 \mu\text{R/h} + \text{kozmično sevanje}$

vložki rdečega peščenjaka v sivem na podlagi 24 vzorcev:

uran $2,52 \pm 0,20$ ppm, kar ustreza $3 \mu\text{R/h}$

torij $11,09 \pm 0,63$ ppm, kar ustreza $4 \mu\text{R/h}$

kalij $2,45 \pm 0,17$ ‰, kar ustreza $3 \mu\text{R/h}$

skupaj $10 \mu\text{R/h} + \text{kozmično sevanje}$

Radioaktivni elementi v količini Clarkovega povprečja so prišli v kamenine singenetsko. Prvotno stanje se med diagenozo in epigenozo ni bistveno spremenilo. Analize kažejo, da je kalija več v rdečem peščenjaku, kar velja tudi za njegove vložke v sivem peščenjaku. Vzorci sivega peščenjaka s površja in iz vrtin vsebujejo enako količino kalija.

Torija je znatno več v rdečem peščenjaku, kar velja tudi za vložke rdečega peščenjaka v sivem. Njegova količina ustreza Clarkovemu povprečju v kameninah. Visoka vsebnost torija kaže na kontinentalno ali epikontinentalno sedimentacijo. V sivem peščenjaku je torija precej manj, kar kaže na morsko sedimentacijo. Torij se težko topi, zato med sedimentacijo ne potuje daleč, večji del ga ostane na kopnem in v obalnem pasu morja. Na slabo mobilnost torija kažejo njegove enake količine v sivem peščenjaku na površju in v vrtinah.

Urana je več v sivem peščenjaku. Rdeči peščenjak vsebuje manj urana kot znaša Clarkovo povprečje v kameninah zemeljske skorje, to velja tudi za vložke rdečega peščenjaka v sivem. Sivi peščenjak vsebuje enake količine urana kot kisle magmatske kamenine. Zanimivo je, da vzorci sivega peščenjaka s površja vsebujejo manj urana kot jedra vrtin (iz večjih globin). Kaže, da okrog 20 ‰ urana spere podzemeljska voda, ki vsebuje kisik.

Disperzija uranovih odstotkov je vedno večja od torijevih. V rdečem peščenjaku je torijeva disperzija manjša kot v sivem. Isto je še bolj poudarjeno pri uranu; v rdečem peščenjaku je njegova disperzija 30 ‰, v sivem pa 50 ‰. Ta razlika je posledica razmerja med topljivim in netopljivim uranom. Rdeči peščenjak vsebuje precej manj topljivega urana

kot sivi. Zato v površinskih delih pride do migracije, oziroma izpiranja urana v glavnem v sivem peščenjaku.

Na podlagi odstotkov radioaktivnih elementov izračunani naravni radioaktivni ozadji sivega in rdečega peščenjaka sta enaki. Toda radioaktivnost sivega peščenjaka je kvalitetnejša, ker prihaja večji del njegovega parcialnega sevanja od urana.

V sivem peščenjaku so izmerili zvišano radioaktivnost na mnogih naravnih in umetnih izdankih, v koritih in na bregovih potokov ter v cestnih vsekkih. Anomalno radioaktivnost so pokazali celo posamezni bloki v potokih. V nekaterih blokih so našli sekundarne uranove minerale, ko so jih razbili.

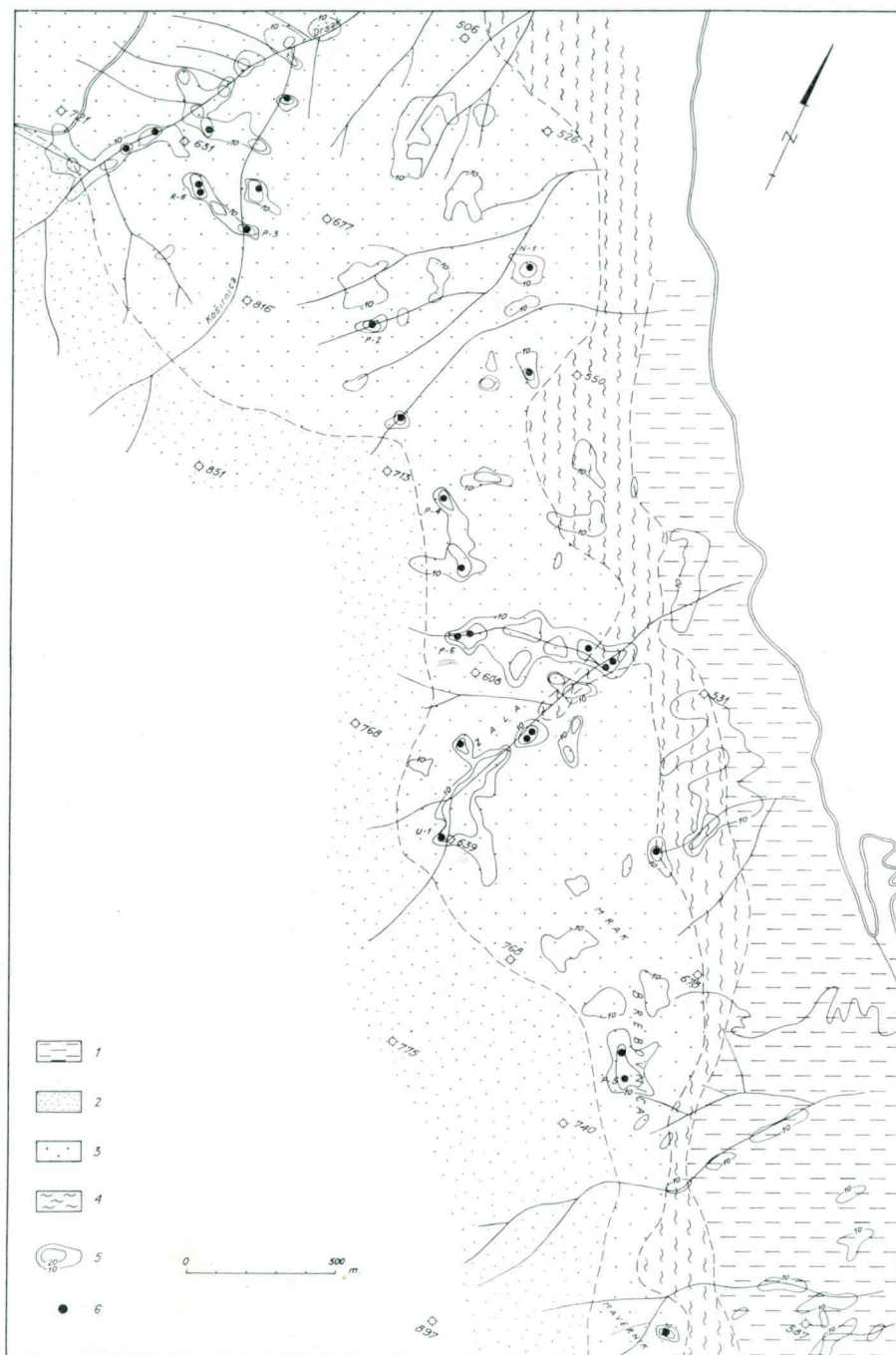
Prvo anomalijo radioaktivnosti so izmerili med peš prospekcijo na severovzhodnem pobočju Žirovskega vrha dne 29. maja 1960 (D. I v a n o - v i č, 1961). Rezultate te prospekcije bomo opisali na kratko (glej sl. 3).

Prvo izmerjeno nahajališče z zvišano radioaktivnostjo je Brebovnica med zaselkoma Mavernik in Mrak. Na steni cestnega vseka je bilo izmerjeno $40 \mu\text{R/h}$, v nanosu poleg ceste pa 15 do $100 \mu\text{R/h}$ (naravno radioaktivno ozadje 7 do $10 \mu\text{R/h}$). Na kraju anomalije so z razkopavanjem našli oranžaste in zelene sekundarne uranove minerale ter pri tem izmerili zelo visoko radioaktivnost prek $10\,000 \mu\text{R/h}$. V neposredni bližini anomalije so v potoku našli bloke in prodnike sivega peščenjaka s sekundarnimi uranovimi minerali. Bloki so bili oddaljeni od izdanka do 1000 metrov. Iz razkopa so pognali raziskovalni rov. V njem so našli lečo bogate uranove rude. Oranžasto rumena ruda je vsebovala v glavnem dumontit in malo torbernita. Radioaktivnost je bila celo višja, kot je bilo možno izmeriti z radiometrom ($20\,000 \mu\text{R/h}$), analiza pa je pokazala več odstotkov kovine.

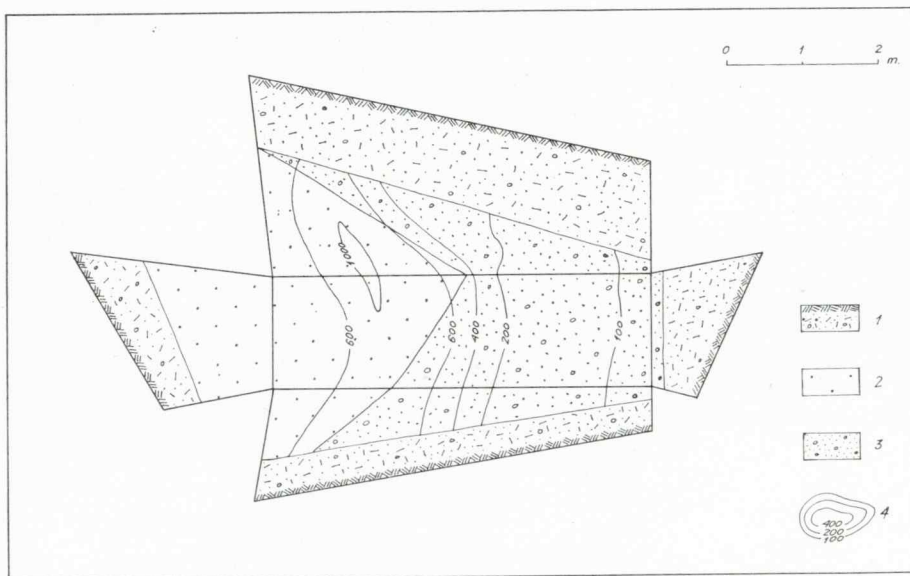
V potokih, ki se izlivajo v potok Zalo nizvodno od talnine sivega peščenjaka, so našli bloke z zvišano radioaktivnostjo do $130 \mu\text{R/h}$. To območje so detajlno izmerili v provizorični mreži $50 \times 50 \text{ m}$ in v enem izmed profilov od severa proti jugu našli več anomalnih radioaktivnosti. Z razkopi so nato odkrili sekundarne uranove minerale v črnih vključkih organske snovi v sivem peščenjaku. V bližini Zale so izkopali raziskovalni rov in z njim presekali sivi peščenjak z radioaktivnostjo $100 \mu\text{R/h}$, najvišja jakost pa je znašala $200 \mu\text{R/h}$. Tudi tu so v razkopih našli sekundarne minerale urana; njihova radioaktivnost je bila do $5000 \mu\text{R/h}$. V pritokih Zale so našli še več anomalnih radioaktivnosti. Anomalijo P-6 so najprej razkopali in nato iz razkopa pognali na obe strani raziskovalna rova. Našli so plast bogate uranove rude s smerjo severozahod—jugovzhod. Radioaktivnost je povečini znašala do $1000 \mu\text{R/h}$, v redkih primerih pa je dosegla $20\,000 \mu\text{R/h}$. Vpada rudnega telesa niso mogli jasno ugotoviti, niti njegove

Sl. 3. Geološka in radiometrična karta severovzhodnega pobočja Žirovskega vrha
1 skrilavec in dolomit (zgornja triada), 2 rdeče grōdenske plasti (srednji perm), 3 sive grōdenske plasti (srednji perm), 4 glinasti skrilavec in peščenjak (zgornji karbon), 5 izorade, 6 radioaktivnost nad $100 \mu\text{R/h}$

Fig. 3. Geologic and radiometric map of the northeastern slope of Žirovski Vrh
1 shale and dolomite (Upper Triassic), 2 red Grōden beds (Middle Permian), 3 grey Grōden beds (Middle Permian), 4 shale and quartz sandstone (Upper Carboniferous), 5 isorads, 6 radioactivity exceeding $100 \mu\text{R/h}$



oblike. Domnevali pa so, da gre za rudno telo, ki je vzporedno s plastovitostjo. Šele pozneje je bilo ugotovljeno, da sekundarni uranovi minerali slede klivažnim ploskvam, medtem ko so primarna rudna telesa vzporedna s plastovitostjo.



Sl. 4. Geološki in radiometrični načrt razkopa

1 deluvialni nanos, 2 sivi peščenjak, 3 sivi konglomeratni peščenjak, 4 izorade

Fig. 4. Geologic and radiometric map of the test pit

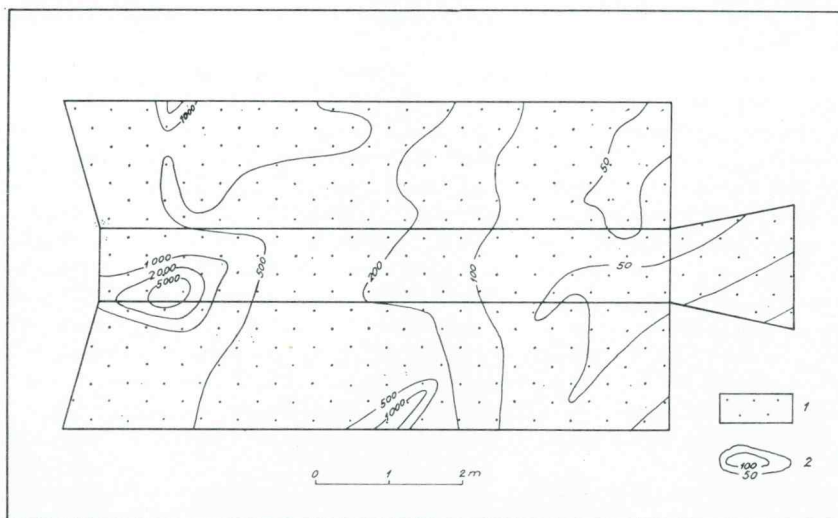
1 deluvial deposits, 2 grey sandstone, 3 grey conglomerate sandstone, 4 isorads

V cestnem vseku je bila izmerjena na steni anomalija P-4 jakosti več $100 \mu\text{R/h}$ (sl. 4). Z razkopom so našli sekundarne uranove minerale, ki so jim sledili s kratkim smernim raziskovalnim rovom, dokler se niso izklinili. Radioaktivnost je bila visoka, ponekod 5000 do 10 000 $\mu\text{R/h}$. Tudi to rudno telo je bilo v sivem srednjezrnatem peščenjaku z dobro razvito klivažo, medtem ko plastovitosti ni bilo mogoče opaziti. Povsod pa so našli površinske spremembe z limonitizacijo ob prisotnosti podzemelske vode. Pogosto so našli črno snov, najbolj verjetno organsko snov s hidroksidi mangana in železa.

Anomalijo N-1 so našli v jarku, kjer je bil precej na debelo nakopičen deluvialni nanos. Izmerili so $20 \mu\text{R/h}$. Iz razkopa so nato naredili kratek vpadnik in našli kose sivenga peščenjaka s sekundarnimi uranovimi minerali. Pri nadaljevanju vpadnika orudenih kosov ni bilo več. Zaradi velike debeline nanosa niso prišli do primarnega rudnega telesa. Pozneje so ugotovili, da so se kosi peščenjaka s sekundarnimi minerali nabrali na karbonskem glinastem skrilavcu. Ta anomalija predstavlja mehanično avreolo, izdanek pa je lahko zelo daleč.

Na kraju majhne anomalije P-2 so izkopali kratek rov in v njem našli po razpokah prelomne cone autunit in torbernit v obliki sigastih prevlek, ki so se verjetno izločile iz podzemeljskih vod.

Visoko anomalijo so izmerili v potoku Koširnica. Z razkopavanjem so našli sekundarne uranove minerale. Med njimi je prevladoval dumontit. Z razkopom na bregu potoka so odkrili precej veliko limonitizirano površino z oranžno rumenimi in zelenimi uranovimi minerali. V kratkem raziskovalnem rovu je bila rudna plast močno impregnirana z dumontitom (sl. 5). Radioaktivnost je znašala prek 20 000 $\mu\text{R/h}$. Vzorci so vsebovali nad 1 % urana. V rovu so pozneje pri detajlnem geološkem kartiranju opazili, da orudenje sledi plastovitosti. Plasti na tem kraju vpadajo proti severu in severovzhodu, podobno kot klivaža, ki je pa tu slabo razvita.



Sl. 5. Geološka in radiometrična karta raziskovalnega rova

1 sivi peščenjak, 2 izorade

Fig. 5. Geologic and radiometric map of adit

1 grey sandstone, 2 izorade

Majhna anomalija 30 $\mu\text{R/h}$ na severnem pobočju Žirovskega vrha se je po razkopavanju povečala na 500 $\mu\text{R/h}$. Povzročal jo je sivi srednjezrnati peščenjak. Sekundarnih uranovih mineralov ni vseboval.

V potoku Dršak so nakopičeni bloki in oblice sivega peščenjaka in konglomerata z višjo radioaktivnostjo. Severno od tega potoka pri meritvi niso registrirali anomalnih radioaktivnosti.

V južnem delu Žirovskega vrha so bile anomalije redke in povečini nizke (do 30 $\mu\text{R/h}$). Višjo vrednost (do 200 $\mu\text{R/h}$) so dobili le na Golem vrhu zahodno od kote 887 m in na poti pri jezeru Smrečje. Teh anomalij niso detajlno raziskali.

Rezultati peš prospekcije so pokazali, da sta orudena sivi grödenski peščenjak in konglomerat na severovzhodnem pobočju Žirovskega vrha v pasu, dolgem nad 10 km, med Fužinami in Smrečjem. Največ anomalij je med potokoma Dršak in Brebovnica (okrog 5 km). Bloki in oblice z zvišano radioaktivnostjo in ponekod s sekundarnimi uranovimi minerali so preneseni precej daleč od izdankov (do 1 km). Rudni izdanki, odkriti z razkopavanjem, slede smeri sivih grödenskih plasti, oziroma meji med sivimi in rdečimi plastmi. To kaže, da uran ni raztresen po vsej debelini sivih plasti, temveč se nahaja v glavnem v določenem stratigrafskem horizontu precejšnje debeline prek 100 m.

Rovte. Radioaktivna prospekcijska izdankov grödenskega peščenjaka in karbonskega glinastega skrilavca pri Rovtah južno od Smrečja na Žirovskem vrhu je pokazala jakost 6 do 10 $\mu\text{R/h}$. Gama karotiranje vrtin, ki so jih tod vrtali med raziskavami živega srebra, je tudi dalo le vrednosti v mejah naravnega radioaktivnega ozadja.

Škofja Loka. Regionalna peš prospekcijska je obsegla širšo okolico Škofje Loke od Polhovega Gradca prek Zminca in Praprotnega do Besnice. Največja širina izmerjenega terena se je raztezala med Poljansko in Selško dolino od Blegoša prek Koprivnika (1389 m), Mladega vrha (1205 m) do Lubnika. Najnižjo radioaktivnost so imele karbonatne kamenine (do 4 $\mu\text{R/h}$). Rezultati meritev v grödenskih plasteh so naslednji: kremenov konglomerat 5 do 7 $\mu\text{R/h}$, vijoličasti skrilavec 6 do 10 $\mu\text{R/h}$, rdeči peščenjak in skrilavec 8 do 14 $\mu\text{R/h}$ in sivi peščenjak 10 do 16 $\mu\text{R/h}$. Anomalije so našli v sivem grödenskem peščenjaku in konglomeratu. Med karbonskimi plastmi je bil najbolj radioaktiven temen glinasti skrilavec (12 do 15 $\mu\text{R/h}$, ponekod celo do 25 $\mu\text{R/h}$), sledil je peščenjak (8 do 12 $\mu\text{R/h}$), konglomerat (4 do 7 $\mu\text{R/h}$), najmanj pa apnenec (do 4 $\mu\text{R/h}$).

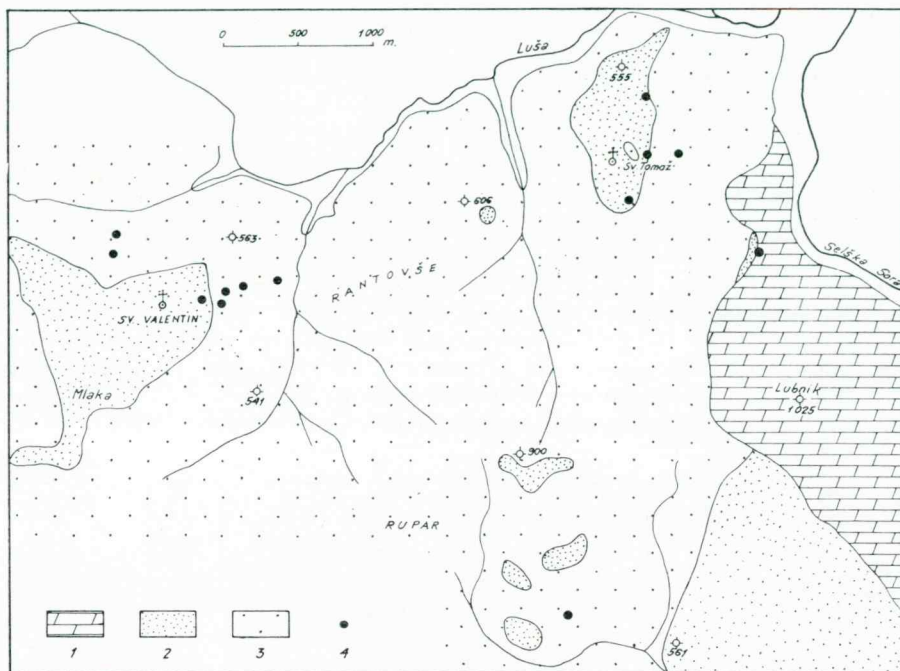
V triadnih plasteh prevladujejo karbonatne kamenine. Merili so jih le na meji z mladopaleozojskimi skladi. Njihova radioaktivnost ni presegla 4 $\mu\text{R/h}$.

V okolici Škofje Loke so našli naslednje anomalne radioaktivnosti: Na cesti v zaselku Sveti Tomaž so našli kose sivega peščenjaka z radioaktivnostjo do 300 $\mu\text{R/h}$. Nato so z detajlnimi meritvami našli dva pojavi večje radioaktivnosti. Prvi se nahaja v sivem peščenjaku. V razpoki so vidni sekundarni zeleni uranovi minerali in sulfidni minerali. V neposredni bližini so v konglomeratnem peščenjaku izmerili prek 1000 $\mu\text{R/h}$; sekundarnih uranovih mineralov pri tem niso opazili.

V okolici teh dveh anomalij so na več krajih našli zvišano radioaktivnost 40 do 700 $\mu\text{R/h}$ (sl. 6). Detajlne meritve pa so pokazale, da gre za mehanično avreolo, ker so radioaktivni le bloki in kosi sivega peščenjaka, raztreseni v deluvialnem nanosu.

V bližini cerkve sv. Valentina so našli več anomalnih radioaktivnosti. Na kraju, kjer so izmerili 90 $\mu\text{R/h}$, so razkopavali, vendar primarnega izdanka niso odkrili, temveč le kose sivega peščenjaka z vidnimi sekundarnimi uranovimi minerali.

Na vaški cesti v okolici vasi Rutar so našli kos radioaktivnega sivega peščenjaka. Z detajlnimi raziskavami so na majhni površini okrog 20 m² našli bloke sivega peščenjaka s premerom 1 m. Njihova radioaktivnost je



Sl. 6. Geološka karta z anomalijami radioaktivnosti v okolici Škofje Loke
1 dolomit in apnenec (srednja triada), 2 grödenske plasti (srednji perm) 3 peščenjak, konglomerat in glinasti skrilavec (srednji ali zgornji karbon), 4 anomalije radioaktivnosti

Fig. 6. Geologic map showing the radiometric anomalies in Škofja Loka area
1 dolomite and limestone (Middle Triassic), 2 Gröden beds (Middle Permian), 3 sandstone, conglomerate, and shale (Middle or Upper Carboniferous), 4 radiometric anomalies

bila v mejah 30 do 400 $\mu\text{R/h}$. Peščenjak vsebuje pirit in je limonitiziran. Na pobočju so našli tudi izdank sivega peščenjaka z radioaktivnostjo do 100 $\mu\text{R/h}$. Pozneje so ugotovili, da je anomalija na območju karbonskih sedimentov.

Na severnem pobočju Lubnika so v grapi, odprti proti Selški Sori, številni bloki in kosi sivega peščenjaka na triadnem dolomitu. Radioaktivnost doseže 500 $\mu\text{R/h}$. Primarnega izdanka niso našli.

Severovzhodno od Breznice so izmerili nizko radioaktivnost modrikastega glinastega materiala z apnenimi kosi. Verjetno je v bližini kontakt grödenskih plasti s triadnim apnencem.

Jugovzhodno od Zminca so v potoku (Vodnik) prodniki sivega peščenjaka s sevanjem do 60 $\mu\text{R/h}$. Izdankov sivega peščenjaka niso našli. Anomalijo radioaktivnosti nizke jakosti so izmerili tudi v žili kaoliniziranega materiala v zelenem peščenjaku.

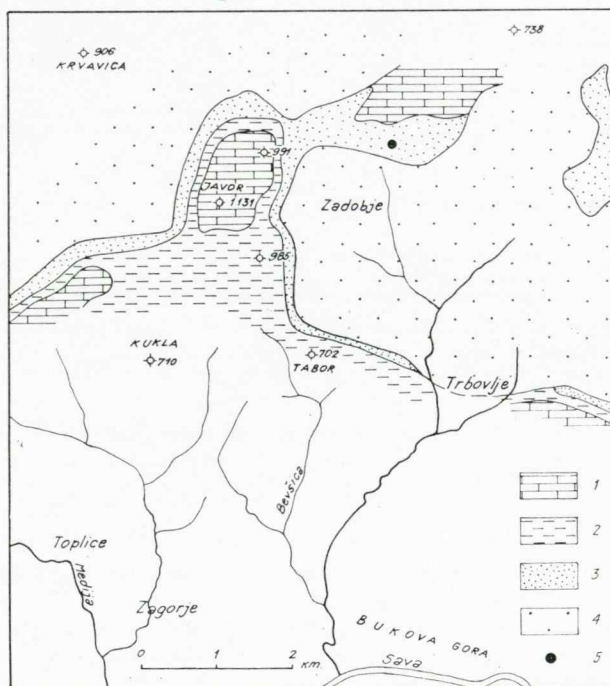
Radioaktivnost sivega drobnozrnatega peščenjaka v grapi, odprti proti Bukovskemu potoku, je znašala do 25 $\mu\text{R/h}$. Po razpokah so vidni sekundarni bakrovi minerali. Zvišano radioaktivnost je pokazal tudi nanos.

Severovzhodno od Crngroba so našli sivi kremenov peščenjak z radioaktivnostjo do $35 \mu\text{R/h}$.

Pregledali smo tudi magmatske kamenine in tufe na Bezoviškem hribu in v Nemiljah. Med kameninami prevladuje kataklaziran porfirski tuf z radioaktivnostjo 10 do $18 \mu\text{R/h}$.

Trojanska antiklinala. Jedro trojanske antiklinale sestoji iz mladopaleozojskih kamenin, ki smo jih raziskali od Trojan prek Trbovelj do Laškega. Radioaktivnost karbonskih plasti je odvisna od petrografske sestave in se giblje med 4 in $15 \mu\text{R/h}$. Le glinasti skrilavec je ponekod dosegel $25 \mu\text{R/h}$.

Na karbonskih sedimentih leže grödenske plasti (sl. 7), ki se pokažejo na površju v ozkih pasovih na severnem in južnem krilu antiklinale. Sestojajo iz sivega in rdečega peščenjaka, skrilavca in konglomerata. Radioaktivnost sivega in rdečega peščenjaka je približno enaka in znaša 6 do $15 \mu\text{R/h}$; le ponekod je višja. Našli so le eno samo anomalno vrednost pri Knezdolu



Sl. 7. Geološka karta z anomalijami radioaktivnosti trojanske antiklinale
1 dolomit in apnenec (srednja triada), 2 werfenske plasti (spodnja triada), 3 grödenske plasti (srednji perm), 4 glinasti skrilavec, peščenjak in konglomerat (karbon), 5 anomalije radioaktivnosti

Fig. 7. Geologic map showing the radiometric anomalies of Trojan anticline
1 dolomite and limestone (Middle Triassic), 2 Werfenian beds (Lower Triassic), 3 Gröden beds (Middle Permian), 4 shale, sandstone, and conglomerate (Carboniferous), 5 radiometric anomalies

severozahodno od Trbovelj. Tanki (do 0,5 m) vložki sivega peščenjaka v rdečem peščenjaku in skrilavcu so imeli radioaktivnost do 28 $\mu\text{R/h}$, rdeči peščenjak pa do 20 $\mu\text{R/h}$.

Radioaktivnost triadnih sedimentov, ki leže na grödenskih, ni presegla 6 $\mu\text{R/h}$.

Litijska antiklinala. Regionalna peš prospekcija je zajela mladopaleozojske sklade na območju St. Jurij, Svibno, Radeče, Vrhovo, Št. Janž. V karbonskih plasteh so izmerili 4 do 15 $\mu\text{R/h}$, v grödenskih pa 6 do 15 $\mu\text{R/h}$. Grödenske plasti predstavlja rdeči peščenjak s tankimi vložki sivkasto zelenega peščenjaka v talninskem delu.

Karavanke

Mladopaleozojski skladi so na površju v zahodnih Karavankah med Mojstrano in Jezerskim. Vzhodno od tod jih prekrivajo mezozojske plasti. Radioaktivnost karbonskih in permskih sadimentov je odvisna od njihove petrografske sestave.

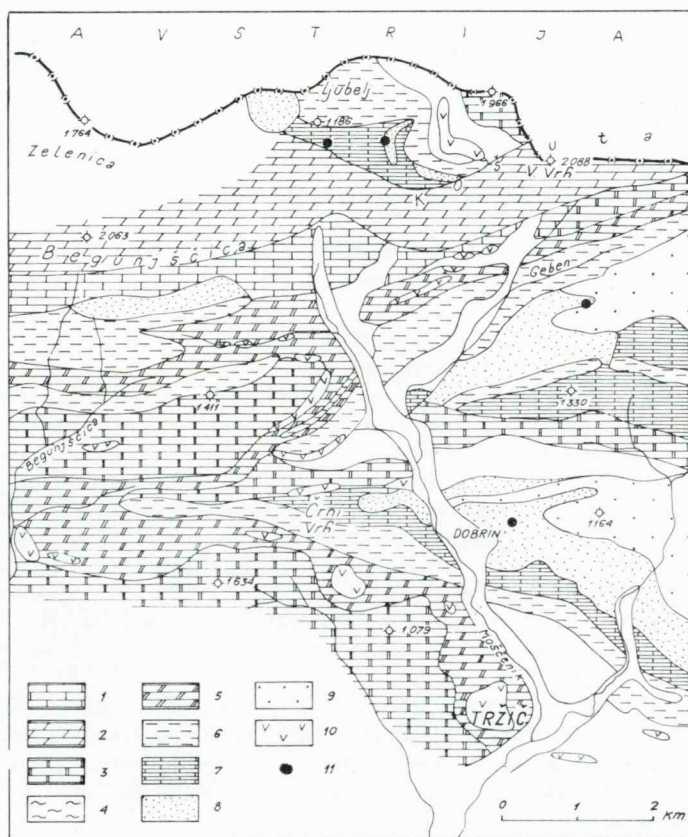
V širši okolici Tržiča so izmerili naslednje vrednosti v karbonskih plasteh: karbonatne kamenine do 4 $\mu\text{R/h}$, konglomerati 4 do 7 $\mu\text{R/h}$ in peščenjaki do 10 $\mu\text{R/h}$, ponekod do 12 $\mu\text{R/h}$. Spodnjepermske usedline so radioaktivne na ravni spontanega sevanja. V grödenskem horizontu pa imajo višjo radioaktivnost (8 do 15 $\mu\text{R/h}$) vložki sivega peščenjaka v rdečih plasteh, med katerimi prevladujeta konglomerat in skrilavec. Belerofonski apnenec in dolomit sta večidel nizko radioaktivna, razen na enem kraju na vzhodu Ljubelja.

Anomalije radioaktivnosti so izmerili jugozahodno od Savskih jam. Večjo radioaktivnost (45 $\mu\text{R/h}$) imajo vložki sivega peščenjaka, debeli do 1 m, v rdečem grödenskem peščenjaku. Sivi vložki vsebujejo tanke žile premogaste snovi. Okrog organske snovi opazujemo limonit, ki je verjetno nastal iz sulfidnih mineralov.

Belerofonski apnenec z višjo radioaktivnostjo nahajamo južno od Ljubelja (sl. 8). Apnenec je preperel in zdrobljen, morda gre za prelomno cono. V neposredni okolici ima apnenec sevanje le do 6 $\mu\text{R/h}$. Zanimivi pa so kosi bolj kompaktnega apnenca v potoku, kjer so izmerili 300 do 700 $\mu\text{R/h}$, po razkopavanju pa celo do 1300 $\mu\text{R/h}$. Radiometrična analiza je pokazala veliko količino torija ob precejšnji količini urana. Radioaktivno ravnotežje je premaknjeno v korist radija do 250 %. To kaže na močno izpiranje urana v recentni dobi.

V razpokah debeložrnatega kremenovega peščenjaka severovzhodno od Dobrina je opaziti zelene sekundarne minerale. Tu so izmerili sevanje 130 $\mu\text{R/h}$. Radioaktivne pojave manjše jakosti, do 30 $\mu\text{R/h}$, so registrirali še na več krajih v bližnji okolici po razpokah peščenjaka in v glinastem materialu.

Na površju razkrojenega humusa jugojugovzhodno od Ljubelja je sevanje imelo jakost le 50 $\mu\text{R/h}$, po razkopavanju pa se je povečalo na 120 $\mu\text{R/h}$, vendar do primarne kamenine niso prišli. V deluvialnem nanosu so našli le kose apnenca, podobne belerofonskemu apnencu južno od Ljubelja (sl. 8). Apnenec v bližnji okolici ima ponekod radioaktivnost do 10 $\mu\text{R/h}$, kar presega naravno radioaktivno ozadje.



Sl.8. Geološka karta z anomalijami radioaktivnosti na Karavankah v okolici Tržiča

1 apnenec (lias), 2 glavni dolomit (zgornja triada), 3 apnenec (srednja triada), 4 skrilavec (spodnja triada), 5 dolomit (spodnja triada), 6 werfenske plasti (spodnja triada), 7 belerofonski apnenec (zgornji perm), 8 grödenske plasti (srednji perm), 9 glinasti skrilavec, peščenjak in konglomerat (karbon), 10 porfirit in tuf, 11 anomalije radioaktivnosti

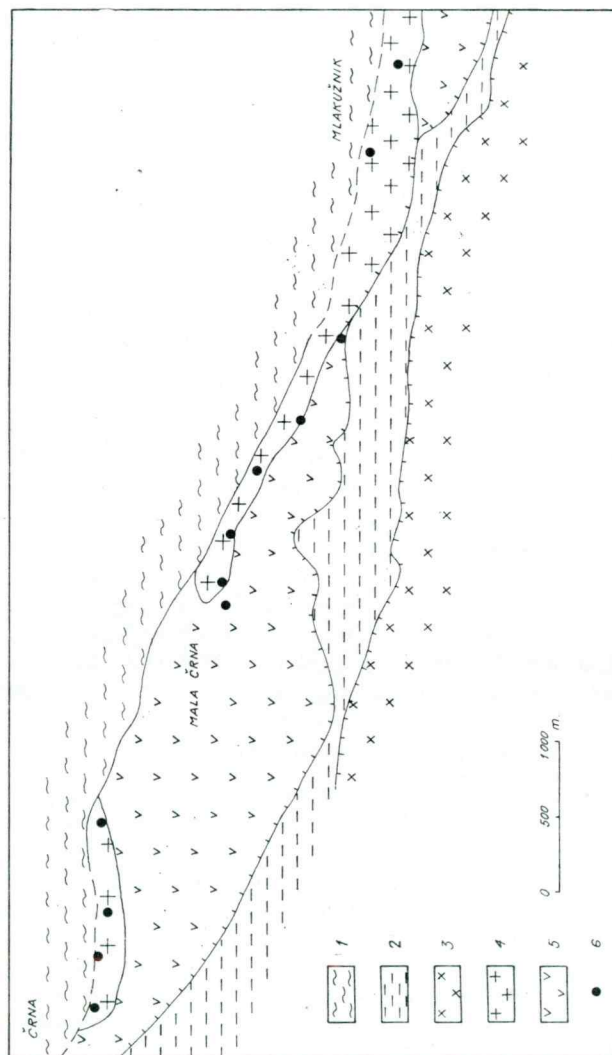
Fig.8. Geologic map showing the radiometric anomalies in the neighborhood of Tržič in Karavanke mountains

1 limestone (Liassic), 2 upper dolomite (Upper Triassic), 3 limestone (Middle Triassic), 4 shale (Lower Triassic), 5 dolomite (Lower Triassic), 6 Werfenian beds (Lower Triassic), 7 Bellerophon limestone (Upper Permian), 8 Gröden beds (Middle Permian), 9 shale, sandstone, and conglomerate (Carboniferous), 10 porphyrite and tuff, 11 radiometric anomalies

Pri zaselku Matizovec je sevanje do $30 \mu\text{R/h}$ vezano na vložek sivega razpadlega peščenjaka v rdečem peščenjaku, ki je oddajal le $9 \mu\text{R/h}$. Sevanje se tudi po razkopavanju ni povečalo.

V okolici Jezerskega imajo najnižjo aktivnost karbonatne kamenine, povečini le do $4 \mu\text{R/h}$. Malo močnejše je sevanje peščenjaka in konglomerata: 6 do $10 \mu\text{R/h}$, le redko $12 \mu\text{R/h}$. Podobne vrednosti veljajo tudi za rdeči grödenski peščenjak in skrilavec.

Po večfaznih magmatskih intruzijah in disjunktivnih strukturah na Pohorju in v okolici Črne na Koroškem se da sklepati na možnost nastanka primarnih nahajališč uranove rude. Zanimivo je zlasti območje jugovzhodno od Črne. Njegov severni in osrednji del sestojita iz kontaktno in regionalno metamorfoziranih sedimentov, južni pa iz magmatskih kamenin (sl. 9). Sedimente predstavlja paleozojski glinasti skrilavec, ki je na kontaktu z granitom na severnem robu masiva metamorfoziran. Poleg porfiroidnega granita nastopa tudi granodiorit, južni rob pa sestoji iz tonalita, ki ga od granita in granodiorita loči cona filita, metamorfozi-



Sl. 9. Geološka karta z anomalijami radioaktivnosti v okolici Črne na Koroškem

1 glinasti skrilavec, 2 metamorfni skrilavec, 3 tonalit, 4 spremenjeni porfiroidni granit, 5 diorit, 6 anomalije radioaktivnosti

Fig. 9. Geologic map showing the radiometric anomalies in the neighborhood of Črna na Koroškem

1 shale, 2 crystalline schist, 3 tonalite, 4 altered porphyroid granite, 5 diorite, 6 radiometric anomalies

ranega na stiku z magmatskimi kameninami. Mlajši sedimenti na tem območju niso zanimivi.

Najstarejši magmatski kamenini sta spremenjeni gablo in diabaz, ki prodirata skozi metamorfni skrilavec. Našli so tudi amfibolit. Podobne kamenine nastopajo tudi v triadnem apnencu in granitu.

Pas granodiorita in granita je dolg okrog 30 km in širok 100 do 2500 metrov. Ugotovljeni sta dve fazi magmatskega delovanja ob treh vrstah kamenin. Granodiorit je temno siv in srednjezrnat. Njegova radioaktivnost znaša 10 do 14 $\mu\text{R/h}$. Porfiroidni granit je mlajši, ker ponekod prodira skozi granodiorit ali vsebuje vključke granodiorita. Njegova radioaktivnost je podobna sevanju granita. Tretja vrsta magmatske kamenine je spremenjen in kataklaziran granit, ki se nahaja na severnem kontaktu masiva in je povečini močno limonitiziran. V prelomni coni je spremenjen v glinasto maso. Tudi njegova radioaktivnost znaša 10 do 14 $\mu\text{R/h}$. Anomalne pojave radioaktivnosti so našli samo na območju spremenjenega granita. Med navedenimi vrstami kamenin so postopni prehodi.

Prospekcija je zanesljivo pokazala, da so posamezne vrste magmatskih kamenin praktično enako radioaktivne, medtem ko vsebujejo sosednji sedimenti manj radioaktivnih elementov s sevanjem 5 do 10 $\mu\text{R/h}$, apnenec pa celo pod 5 $\mu\text{R/h}$.

Prospekcija je zajela tudi smrekovski andezit. Ta kamenina je temno siva do zelena in vsebuje fenokristale plagioklazov, amfibolov in piroksenov. Na andezitu leži andezitni tuf. Radioaktivnost obeh je nizka, povečini pod 10 $\mu\text{R/h}$.

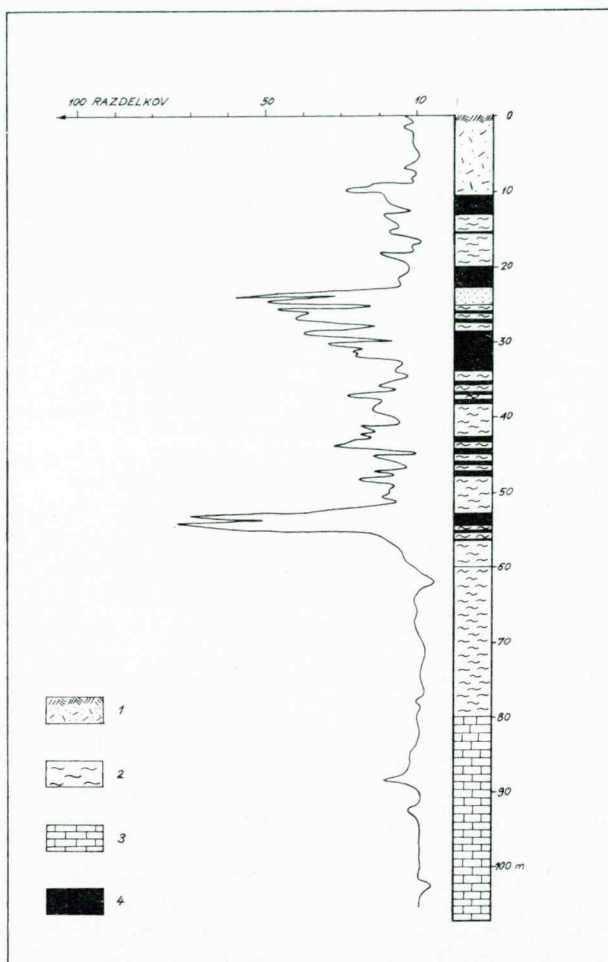
Disjunktivne strukture se raztezajo od zahoda proti vzhodu. Velike prelome se da slediti na razdalji 20 km. Eden takih prelomov je severna meja granita in granodiorita. Magmaške kamenine so verjetno narinjene na paleozojski skrilavec ter na mezozojske in terciarne sedimente.

Anomalije radioaktivnosti se pojavljajo samo ob tem severnem tektonskem kontaktu v spremenjenem porfiroidnem granitu. Med Pristavo in Mlakužnikom so na razdalji 7 do 8 km registrirali več anomalij jakosti 30 do 150 $\mu\text{R/h}$. V razkopih so ponekod izmerili 400 $\mu\text{R/h}$. Ugotovili so, da je radioaktiven predvsem kaoliniziran prelomni material. Radioaktivno ravnotežje je pomaknjeno proti radiju, kar kaže na izpiranje urana.

Kočevska kotlina in Črnomaljska plošča

Zahodno od Roga se nahaja Kočevska kotlina s premogovnikom Kočevje, vzhodno pa Črnomaljska plošča s premogovnikom Kanižarica.

V premogovniku Kočevje so raziskali šest slojev premoga. V štirih zgornjih slojih je lignit, v spodnjih dveh pa rjavi premog. Šesti sloj je z jalovim vložkom razdeljen na dva sloja. Tudi ostali sloji vsebujejo jalove vložke. Radioaktivnost premoga je nizka, navadno pod 100 $\mu\text{R/h}$, prikamenina pa je sterilna. Rjavi premog je bolj radioaktiven, ponekod do 500 $\mu\text{R/h}$. (D. Vulović, 1955). Tudi gama diagram vrtn kaže, da je radioaktiven samo premog. Njegovo naravno radioaktivno ozadje doseže 70 $\mu\text{R/h}$, drugače pa znaša v tem okolju le 5 do 10 $\mu\text{R/h}$.



Sl. 10. Gama diagram vrtine v rudniku Kočevje

1 aluvialni nanos, 2 glina, 3 apnenec, 4 premog

Fig. 10. Gamma-ray log of the bore hole in Kočevje coal mine

1 alluvial deposit, 2 clay, 3 limestone, 4 coal seam

Petrografske raziskave kažejo, da je duren bolj radioaktiven kot klaren, fuzen in ksilen. Radioaktivnega minerala niso našli; uran je verjetno vezan na organsko premogovno snov. Koloidna organska snov namreč močno absorbira uran iz vadozne vode.

V Kanižarici je najbolj radioaktiven vložek v 4. sloju, ločen od sterilnega premoga z vmesno jalovo plastjo. Radioaktivnost doseže $140 \mu\text{R/h}$.

Radiometric Prospecting in Slovenia

Veljko Omaljev

A chronological review of radiometric surveys of three tectonic units in Slovenia is given.

Increased radioactivity has been found in the sediments of the Younger Paleozoicum. Sediments of older age are very rarely found in Slovenia at the surface, and are not radioactive. Carbonates of the Mesozoic show very low radioactivity. The shales are generally of higher radioactivity; in some places their uranium content is as high as in a poor ore deposit, e.g. the Skonca shale in Idrija. Tertiary sediments are possible uranium and thorium bearing formations, however with less probability than the sediments of the Younger Paleozoicum.

Acidic and intermediary igneous rocks can be uranium bearing. Erosion has uncovered intrusive rocks on the Pohorje and in Črna na Koroškem. They are accompanied by younger effusive rocks and tuffs.

Between effusive rocks the quartz-porphyry in the vicinity of Cerkno is of interest, as it could be in genetic connection with the uranium ore at Žirovski Vrh.

Sava Folds

The tectonic unit of the Sava Folds contains the central part of Slovenia from Idrija over Žirovski Vrh, Škofja Loka, Trojane and Litija, Laško and Krško up to the border of Croatia, where it is covered by youngest sediments. The core of the Sava Folds consists of Younger Paleozoic beds, which are frequently outcropping. In them, especially in their western part, in many places increased radioactivity has been detected.

The first important ore deposit was discovered by radioactivity measurements in Gröden sandstone at Žirovski Vrh. In the bank of the road near Brebovnica on May 29, 1960 a radioactivity of 40 $\mu\text{R/h}$, in the alluvium along the road 15–100 $\mu\text{R/h}$ were measured (D. Ivanović, 1961), at a natural background of 7–10 $\mu\text{R/h}$. By pit sampling at the anomaly secondary uranium minerals have been found, and the radioactivity was increasing over 10 000 $\mu\text{R/h}$. An exploration adit driven from the sampling pit encountered a lense of rich ore. The ore of orange-yellow colour contained mainly dumontite and some torbernite. Later, during drilling and mining exploration, it was found that the secondary ore follows the cleavage planes, and the primary ore the bedding planes. The ore bearing formations are Gröden beds, which can generally be divided into red and grey sandstones. The potassium content is higher in the red sandstones. In the grey sandstone samples, either taken from the surface or from drilled cores the potassium content is the same. The thorium content is remarkably higher in the red sandstones. As the solubility of thorium is low, thorium is not transported far during sedimentation. Its main part stays on the shore or in the littoral zones. The low mobility of thorium is

indicated as well by its constant content in the grey sandstones either at the surface or in the exploratory bores.

The uranium content is higher in the grey sandstones. In the red sandstones its content equals Clarke's value for rocks of the earth's crust. The grey sandstone contains quantities of uranium almost equal to those of acidic igneous rocks. It is interesting, that the samples of grey sandstone from the surface contain less uranium than those from the cores of exploratory bores.

An increased radioactivity of Gröden sandstone was found in the western part of the Sava Folds in some places near Škofja Loka, in the central part of the Sava Folds only at Knezdol near Trbovlje coal mine, whereas in the eastern part of the Sava Folds no increased radioactivity was found until now.

Karavanke

Younger Paleozoic sediments are found at the surface in the Western Karavanke between Mojstrana and Jezersko. Eastwards they are covered by Mesozoic beds. Small anomalies of radioactivity were measured in intercalations of grey Gröden sandstone in red sandstone southwest of Savske Jame and in the surroundings of Tržič. Of interest is the increased radioactivity in Bellerophon limestone south of Ljubelj. Radiometric analysis has shown large quantities of thorium, and somewhat less uranium, the radioactive equilibrium tending towards radium.

In the surroundings of Črna na Koroškem an anomalous radioactivity was measured in altered porphyroid granite at the northern border between granite and granodiorite. Their contact is tectonical, and the main radioactivity originates in the kaolinized fault material. The radioactive equilibrium tends towards radium.

Kočevje and Črnomelj Basins

West of Rog mountain there is the Kočevje Basin with the coal mine Kočevje, and in the east the Črnomelj Basin with the coal mine Kanižarica. In Kočevje six coal seams were investigated; the upper four consisting of lignite, the lower two of brown coal. The brown coal shows increased radioactivity, in places up to $500 \mu\text{R/h}$, but usually the radioactivity is lower than $100 \mu\text{R/h}$.

In Kanižarica the highest radioactivity ($140 \mu\text{R/h}$) was measured in the fourth seam, separated from the sterile coal by a waste layer.

Literatura

Aljančič, P. 1951, Izveštaj o rudniku žive Idrija. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Gantar, J. i Milenković, D. 1956, Izveštaj o merenju radioaktivnosti Čelikove jame kod Idrije. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Grad, K., Hinterlechner-Ravnik, A. i Ramovš, A. 1962, Regionalna ispitivanja razvoja gredenskih slojeva u Sloveniji. Referati V Savetovanja. Savez geoloških društava FNR Jugoslavije (strana 77—81). Beograd.

Gojković, S. 1955, Izveštaj o radiografskom ispitivanju bušotine br. IV u rudniku Kočevje. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Gojković, S. 1964, Radioaktivnost sedimenata različitih facija i odnos Th/U kao indikator geohemijskih i sedimentnih facija. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Isailović, S. i Pavlović, A. 1963, Poludetaljno geološko kartiranje i radiometrijska prospekcija područja Fužine—Cerkno. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Isailović, S., Milićević, M. i Pavlović, A. 1964, Poludetaljno geološko kartiranje i gama radiometrijska prospekcija granita Črne. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Ivanković, Đ. 1961, Regionalna i detaljna prospekcija permskih gredenskih peščara u okolini Idrije, Cerkna, Žirija i Gorenje vasi (Slovenija). Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Jelenc, D. 1955, Letno poročilo za leto 1955. Kočevje. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Jelenc, D. 1956, Letno poročilo o raziskovalnih delih v letu 1956 na premog. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Marinković, P. 1961, Regionalna pešačka prospekcija permskih peščara u oblasti Škofje Loke, Tržiča i Radeča 1960. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Marinković, P. 1961, Radiometrijska prospekcija i geološko kartiranje u oblasti Žirovskog vrha 1961. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Marinković, P. 1961, Radiometrijska prospekcija i geološko kartiranje u oblasti Škofje Loke 1961. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Mikinčić, V. 1951, Izveštaj o službenom putu u Idriju. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Mikinčić, V. 1953, Izveštaj o rezultatima dosadašnjih geološko-rudarskih istraživanja nalazišta radioaktivnih škrljaca na rudniku žive Idrija. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Milenković, D. 1956, Mesečni izveštaji o radovima u rudniku Idrija. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Nikolić, P. 1956, Mesečni izveštaji o radovima u rudniku Kanižarica. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Protić, M. i Gojković, S. 1965, Odnos Th/U u klastičnim stenama kao indikator geohemijskih facija. I simpozijum iz geohemije Srpskog geološkog društva. Beograd.

Ristić, M. 1949, Izveštaj o ispitivanju brojačem rudnika žive Idrija. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Smirnov, G. S., Matveev, A. V. i Filimonov, V. V., 1962, Metodi opredelenija prirodi radioaktivnosti gornih parod s samoljeta. Voprosi rudnoi radiometrii. Gosatomizdat. Moskva.

Šumilin, I. P. i Kaljakin, N. I. 1962, K voprosu u primenenii gamma sjomki i radiometričeskikh analizov pri poiskah oreolov rassejanija urana. Voprosi rudnoi radiometrii. Gosatomizdat. Moskva.

Višić, S. 1956, Izveštaj o karotažu bušotine u rudniku Kočevje. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Vujić, M. 1963, Radiometrijska prospekcija rudnika žive Idrija. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Vulović, D. 1955, Prethodni izveštaj o kartiranju i prospekciji u rudniku uglja Kočevje. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.