

---

# ZAZNAVANJE NARAVNIH ZEMELJSKIH RADIOAKTIVNIH IZOTOPOV NA DALJAVO

Valerija Žager, Onkološki institut, Vrazov trg 3, 1000 Ljubljana

## IZVLEČEK

Zaznavanje na daljavo je pridobivanje podatkov o področjih, objektih ali snoveh v okolju brez neposrednega stika z njimi.

Med najpomembnejše naravne radioaktivne izotope prištevamo kalij, K-40 in kompleksni razpadni verigi urana, U-238 in torija, Th-232, ki s številnimi razpadi alfa, beta in gama preideta v stabilna potomca svinca.

Naravni radioaktivni izotopi so v večjih količinah prisotni v granitnih kameninah in v tisti zemlji, ki vsebuje poleg ostalih kamenin še granitne delce ( npr. trda glinasta zemeljska zmes).

Pri zaznavanju zemeljskih radioaktivnih izotopov na daljavo naletimo na določene probleme in sicer zaradi močne absorpcije gama sevanja v zemeljski atmosferi. Tako se v primeru našega planeta uporabljajo meritve gama sevanja naravnih radioaktivnih izotopov z nizkimi preleti letal, ki imajo vgrajene gama detektorje in zaznavajo radioaktivne izotope v prvih 30 cm zemeljske skorje.

Rezultate meritev gama sevanja lahko

uporabljamo za različne namene ( odkrivanje urana, raziskovanje in določevanje lastnosti geološkega materiala določenega področja...).

Gama sevanje, ki ga oddajajo naravni radioaktivni izotopi, lahko razen z nizkimi preleti letal merimo tudi z drugimi metodami zaznavanja na daljavo, ki pa so bolj ali manj učinkovite in uporabne ( neprimerna uporaba v statistiki, direktne meritve slanosti nekega področja z uporabo kozmogenega natrija).

## 1 UVOD

### 1.1 Viri sevanja

Človek je izpostavljen raznim virom sevanja, nekaterim virom je izpostavljeno vse človeštvo stalno, drugim le občasno, nekateri viri sevanja pa so lokalne narave.

Naravno sevanje sestavlja več komponent:

- kozmično sevanje,
- sevanje naravnih radioaktivnih izotopov v zemeljskih tleh,
- dolgoživi radionuklidi, ki pridejo v

organizem z ingestijo ali inhalacijo,

- radioaktivni plin radon.

Glede na vrsto delcev, ki jih sevajo ob razpadu, delimo naravna radioaktivna jedra na:

- alfa aktivna,
- beta aktivna,
- gama aktivna,
- jedra, ki se cepijo, pri čemer se izsevajo nevtroni.

## 1.2 Vrste sevanja

Sevanja, ki nastanejo ob radioaktivnem razpadu ali ob nekaterih napravah, kot so npr. rentgenski aparati, ob prehodu skozi snov ionizirajo atome in molekule. Zato jih imenujemo tudi ionizirajoča sevanja, da jih razlikujemo od sevanj, kot so svetloba, toplotno sevanje, ultrazvok, radijski valovi, ki snovi ne ionizirajo in so torej neionizirajoča sevanja.

## 1.3. Osnovni parametri radioaktivnih izotopov

Posebno pomemben vir sevanja so radioaktivni izotopi – naravni in umetni. Vsak radioaktivni izotop karakterizira nekaj specifičnih osnovnih parametrov, kot so način razpada, razpolovni čas in aktivnost.

## Način razpada

Najpogostejša sta razpada alfa in beta. V prvem primeru jedro izseva delec alfa (helijevo jedro), v drugem pa hkrati elektron ali pozitron in nevtrino ali antinevtrino. Razpad pogosto spremlja tudi emisija žarka gama. Razpadni produkti se zelo razlikujejo po svoji prodornosti. Tako je v zraku doseg delcev alfa nekaj centimetrov, delcev beta nekaj metrov, žarkov gama in nevtronov pa stotine metrov; v trdni snovi so dosegi za okrog 1000-krat manjši.

## Razpolovni čas

Različni radioaktivni izotopi živijo različno dolgo. Kot osnovni podatek običajno navajamo razpolovni čas, to je časovni interval, v katerem razpade polovica začetnega števila jeder. Ta sega od delca sekunde do milijard let.

## Aktivnost

Aktivnost radioaktivne snovi je določena s številom razpadov v časovnem intervalu. Merimo jo v becquerelih (Bq). Stara enota je curie (Ci).

## 1.4 Naravni viri sevanja

### 1.4.1 Kozmično sevanje

Zgornjo plast atmosfere neprestano bombardirajo visokoenergijski delci kot so:

- protoni,

- delci alfa in
- težja jedra.

Večji del te primarne radiacije je galaktičnega izvora, manjši del pa prihaja s Sonca. V atmosferi ti delci zadevajo v molekule zraka in pri tem nastaja sekundarno kozmično sevanje iz elektronov, mezonov, nevtronov.

Dodatno nastajajo ob absorpciji kozmičnega sevanja v atmosferi nekateri radioaktivni izotopi:

- Be-7,
- Na-22,
- H-3 in
- C-14.

Ti kozmogeni izotopi z vremenskimi procesi pridejo do zemeljske površine, kjer se vključijo v določen življenjski prostor.

#### 1.4.2 Naravni zemeljski radioaktivni izotopi

Poleg kozmogennih radioaktivnih izotopov se v okolju nahajajo tudi dolgoživi izotopi, ki sestavljajo verige le-teh in so ostali na Zemlji od njenega nastanka (U-235, ki vsebuje 0,7% naravnega urana; U-238, ki vsebuje 99,3% naravnega urana; Th-232; K-40).

Tako lahko govorimo o izotopih, ki pripadajo:

- uran-radijeji,
- uran-aktinijeji in

- torijeji verigi ter
- kalij K-40.

Ti izotopi oddajajo gama sevanje.

Med najpomembnejše pa sodijo:

- kalij, K-40 ( z razpolovnim časom 1,28 milijarde let),
- kompleksni razpadni verigi urana, U-238 ( z razpolovnim časom 4,47 milijarde let) in
- torija, Th-232 ( z razpolovnim časom 14 milijard let), ki s številnimi razpadi alfa, beta in gama preideta v stabilna potomca svinca.

Te izotope najdemo v vseh zemljah in kameninah. Tako je v zemlji povprečno 370Bq/kg radioaktivnega kalija in pa 25Bq/kg urana in torija.

V majhnih količinah jih najdemo tudi v hrani in vodi, vgrajujejo pa se tudi v žive organizme, npr. v človeškem telesu je okrog 60Bq/kg radioaktivnega kalija.

Naravni zemeljski radioaktivni izotopi v povprečju prispevajo k zunanemu obsevanju 460 mikroSv in k notranjemu 1530 mikroSv letno.

Obširne raziskave stopnje izpostavljenosti zunanemu sevanju so pokazale, da večina prebivalcev našega planeta živi na območjih, kjer letna doza zunanjega sevanja ni znatno drugačna od povprečja. Pri tem pa omejene skupine ljudi žive v okolju, kjer so zaradi višjega naravnega ozadja bolj izpostavljene sevanju. Najbolj je znan primer 70000

ljudi v državi Kerali na jugu Indije, kjer je zaradi visoke vsebnosti torija v pesku naravno ozadje precej višje. Tako del prebivalstva na tem območju prejme tudi do 50 krat večjo letno zunanjo dozo od povprečne svetovne vrednosti. Podobno so tudi prebivalci, ki živijo na visokih nadmorskih višinah, bolj izpostavljeni kozmičnemu sevanju kot tisti v nižinah.

Nekatere človekove dejavnosti, kot termoelektrarne na premog in uporaba fosfatov za proizvodnjo gnojil, povečujejo izpostavljenost naravnemu sevanju. V premogu se nahajajo majhne količine radioaktivnih izotopov K-40, U-238 in Th-232. Ob sežiganju se ti izotopi koncentrirajo v pepelu, ki delno pobegne v atmosfero v obliki letečega pepela. Zato je prebivalstvo v okolici termoelektrarn izpostavljeno nekoliko povišanemu naravnemu sevanju.

Dodatne doze so primerljive s tistimi iz okolice nuklearne elektrarne, vendar je škodljivost tega doprinosa zanemarljiva v primerjavi s škodljivostjo zaradi kemijske toksičnosti plinov, ki se sproščajo ob sežiganju premoga.

Odpadni pepel so včasih uporabljali za izdelavo gradbenih materialov. V takih zgradbah so prebivalci izpostavljeni nekoliko povišanemu sevanju gama in višjim koncentracijam radona.

Za izdelavo umetnih gnojil se uporabljajo fosfati, ki običajno vsebujejo več U-238 kot obdelovalna zemlja. Pri gnojenju s takimi gnojili se poveča U-238 v gnojenih zemljiščih.

## 1.5 Gama sevanje

V naravi je prisotno veliko število elektromagnetnih valov s frekvencami v razponu od nekaj deset Hertz-ev (Hertz = eden nihaj v sekundi) do  $10^{22}$  Hz. Ves ta razpon elektromagnetnega valovanja s skupnim imenom imenujemo spekter elektromagnetnega sevanja.

Gama sevanje so elektromagnetni valovi z valovnimi dolžinami krajšimi od  $10^{-13}$ . To so fotoni z energijami reda MeV.

Elektromagnetno sevanje gama žarkov, z valovno dolžino  $10^{-12}$ , je posledica razpadov (energijski prehodi) nestabilnih atomskih jeder radioaktivnih elementov.

Že prej omenjeni naravni zemeljski radioaktivni izotopi, se v različnih koncentracijah nahajajo v zemlji in kameninah. Razlog, zakaj se ti izotopi še vedno nahajajo v zemeljski skorji je v njihovih izredno dolgih razpolovnih časih, ki so nekje okoli  $10^9$  let.

Naravni radioaktivni izotopi so še posebej prisotni v granitnih kameninah in v tisti zemlji, ki vsebuje tudi granitne delce (npr. trda glinasta zemeljska zmes).

Gama sevanje, ki prihaja s površja kamenin in zemlje, se močno absorbira v vodi in tudi v žive organizme.

Vse vrste sevanja, ki imajo krajšo valovno dolžino od 0,35 nanometra, se zelo močno absorbirajo v zemeljski atmosferi. Tako se tudi gama sevanje, ki prihaja iz zemeljskega površja in iz vesolja, v veliki meri absorbira v atmosfero.

Tako se lahko to spektralno območje energij uporablja za zaznavanje površja na daljavo le v tistih primerih planetov, ki nimajo atmosfere (Luna, Merkur, asteroidi).

## 2 METODE ZAZNAVANJA NA DALJAVO, S KATERIMI LAHKO MERIMO GAMA SEVANJE, KI GA ODDAJAJO NARAVNI ZEMELJSKI RADIOAKTIVNI IZOTOPI

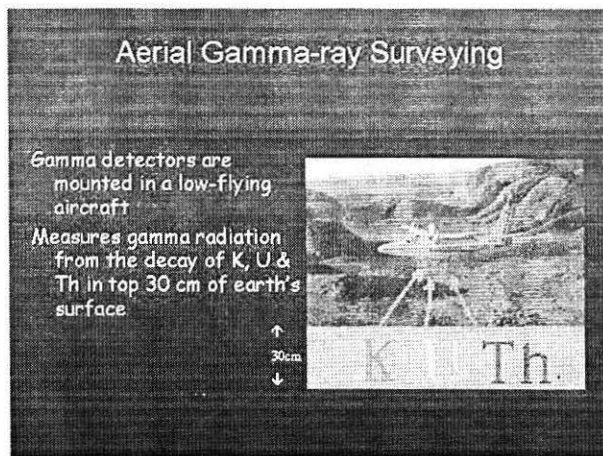
Pri zaznavanju gama sevanja na daljavo, naletimo na določene težave. Ena od težav je močna absorpcija gama sevanja v zemeljski atmosferi. Tako se v primeru

planeta Zemlje, uporabljajo meritve gama sevanja naravnih radioaktivnih izotopov z niskimi preleti letal nad površino zemlje.

Druga pa je ta, da imajo gama žarki nizko intenziteto sevanja in zato z naraščanjem razdalje od izvora sevanja hitro izgubljajo energijo (intenziteta pada s kvadratom razdalje).

Tako se uporabljata predvsem dve metodi za merjenja gama sevanja:

- Nizki preleti z letali (merjenje gama sevanja kalija, urana in torija v prvih 30 cm zemeljske skorje), ki imajo vgrajene gama detektorje in



Slika 1: Zaznavanje gama sevanja kalija, urana in torija z niskimi preleti letal

### Gama spektrometrija

Gama spektrometrija je ena izmed najbolj uporabnih tehnik zaznavanja gama sevanja, s katero lahko določimo

spektralna območja delcev, ki izžarevajo iz številnih radioaktivnih geoloških elementov. Spektrometrija gama sevanja meri energijo gama sevanja pri posameznih radioaktivnih razpadih.

Gama sevanje merimo s posebno oblikovanimi spektrometri, ki delujejo tako, da zbirajo spektre sevanja radioaktivnih izotopov pri posameznih radioaktivnih razpadih le-teh. Vsak razpad ima svojo specifično stopnjo energije, ki se jo lahko identificira.

Namen zbiranja teh spektrov je v tem, da lahko izračunamo vrednosti prisotnih izotopov. Te dobljene vrednosti gama sevanja lahko potem prenesemo na zemljevid tistega področja, ki smo ga proučevali in dobimo s tem pomembne podatke o geološki sestavi tal.

Enote, ki jih uporabljamo v tem območju valovnih dolžin so elektron volt ( $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{ J}$ ). Spektralne črte gama sevanja so običajno v MeV.

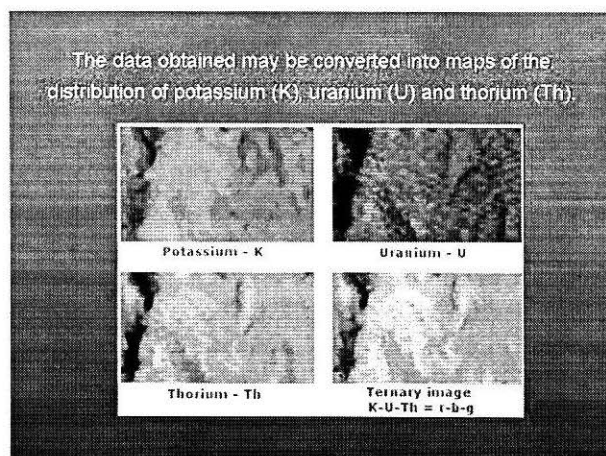
Rezultate meritev gama sevanja, zmerjene bodisi na tleh z gama spektrometrijo oziroma z letalskimi preleti, lahko uporabljamo za:

- odkrivanje urana,

- raziskovanje in določevanje lastnosti geološkega materiala nekega določenega področja (kamnine, sestava tal),
- predvidevanje snežnih padavin in s tem pogojene količine in moči vode (hudourniki), ter izdelava zemljevidov za preiskovana področja,
- izdelavo natančnega zemljevida, na katerih področjih lahko pričakujemo radioaktivne padavine v primeru jedrskih nesreč.

Tabela 1: Najbolj značilna zastopanost naravnih radioaktivnih izotopov v nekaterih geoloških materialih

	K%	U ppm	Th ppm
granit	4	5	18
skrilavec	2	4	7
ostali sedimenti v kameninah	0,4	0,8	1,5
bazalt	0,5	0,5	2

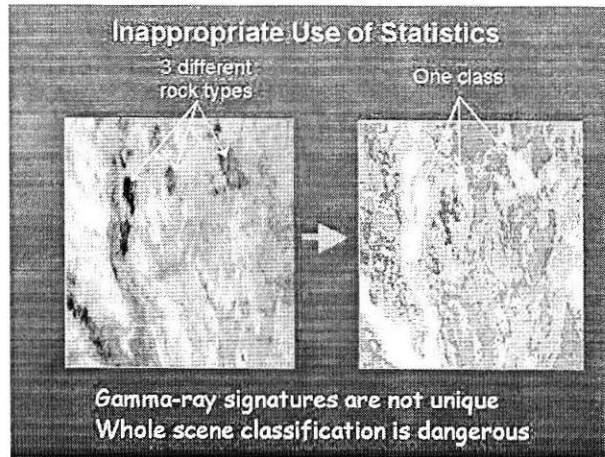


Slika 2: Prikaz kalija, urana in torija v različnih barvah in v skupni kombinaciji barv

### 3 MOŽNI PRIMERI UPORABE GAMA SEVANJA

Zaznavanje gama sevanja iz zraka je zanimivo področje za odkrivanje novih možnosti uporabe le-tega. Gre za merjenje gama sevanja, ki prihaja od kalija, urana in torija in sicer z nizkimi preleti letal.

S tem dobimo zemljevid nahajališč kalija, urana in torija. Vsak izotop prikažemo v svoji barvi, uporabimo običajno rdečo, modro in zeleno barvo. Te barve lahko združimo v eni barvni kombinaciji in na ta način dobimo sliko, ki vsebuje vse tri radioaktivne izotope.



Slika 3: Prikaz neprimerne uporabe v statistiki za tri različne vrste kamnin

#### 3.1 Neprimerna uporaba v statistiki

Imamo primer radiometrične mreže na področju Queenslanda. Na tem področju lahko govorimo o treh vrstah kamnin.

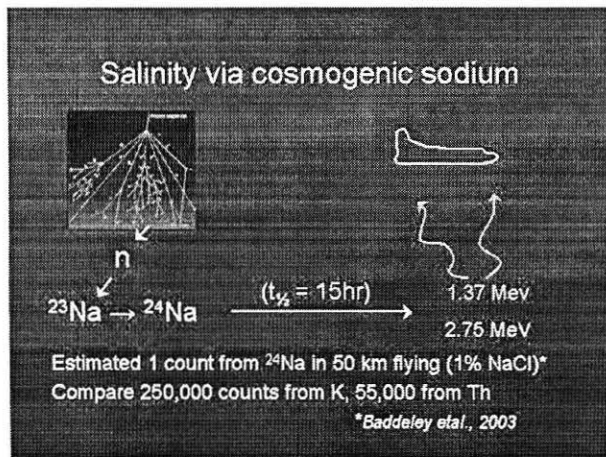
Pri merjenju z radiometrom (aparatus za merjenje žarkov, za merjenje manjših količin sevanja) dobimo vse tri kamnine prikazane z enakimi oznakami. Tu potem nastane problem, kajti če jih sedaj želimo prikazati v barvni kombinaciji, ki je na razpolago, dobimo vse tri kamnine v isti barvi. To pa je neuporabno, saj ne dobimo relevantnih rezultatov za posamezno kamnino.

Ne moremo delati takšne vrste razvrščanja misleč, da bomo dobili pravilne rezultate nahajališč posameznih kamnin, zato je klasifikacija na ta način zelo tvegana.

So načini za primerno uporabo v statistiki, vendar klasifikacija celotne slike ni pravi način.

#### 3.2 Direktna meritve slanosti z gama sevanjem kozmogenega natrija

Ugotovili so, da bi se slanost lahko merila direktno z zračnim zaznavanjem gama sevanja z uporabo kozmogenega natrija.



Slika 4: Meritev slanosti s kozmogenim natrijem

Kozmični žarki vstopajo v atmosfero, s čimer povzročajo razpršitev v obliki majhnih nuklearnih delcev, ki vsebujejo nevtrone. Ti nevtroni reagirajo z natrijem v zemlji, gre za natrij-23 iz katerega nastane natrij-24.

Ta natrij-24 ima razpadni razpolovni čas 15 ur in v tem času nastaneta dve različni energiji žarkov gama sevanja 1,37 MeV-a in 2,75 MeV-a, kateri bi se teoretično lahko zaznali z letalskimi preleti.

V tem primeru lahko pričakujemo v 50 kilometrih preletov letala, en zadetek pri iskanju natrija-24 z vsebnostjo 1%NaCl (natrijevega klorida) v zemlji, kar se smatra za neprimerno in neuporabno metodo.

Nasprotno pa lahko v istem času z letalskimi preleti dobimo četrto milijona zadetkov kalija, ki ima energijo 1,46 MeV, kar je skoraj enako energiji natrija, ki je 1,37 MeV.

Dobimo lahko tudi 55.000 zadetkov torija z energijo 2,61 MeV, kar je spet skoraj enako energiji natrija 2,75 MeV.

Lahko povzamemo, da je merjenje slanosti z aktiviranjem gama žarkov kozmogenega natrija metoda, ki nam ne prinaša nobenih bistvenih prednosti in koristi in je zato ne uporabljamo.

V zemlji se ves čas normalno nahaja 1% do 3% natrija.

Če zaključimo, lahko rečemo, da za odkrivanje slanosti blizu zemeljskega površja uporabljamo zračne fotografije, multi spektralne satelite in pa terensko delo.

Te metode nam dajejo poleg nešteti tudi koristne informacije o morebitnih gibanjih podtalnih voda z uporabo ustreznih modelov.

Metode zaznavanja gama sevanja iz zraka pomagajo pri odkrivanju slanosti,

---

vendar ne moremo govoriti o njih kot o samostojnih metodah za preučevanje letega.

## LITERATURA

1. Dostopno na internetu: <http://www.lwr.kth.se/Grundutbildning/1E1610/RScomp2.pdf>, 08.12.2003
2. Dostopno na internetu: <http://www.science.org.au/conferences/salinity/dickson.htm>, 08.12.2003
3. Šamija M, Krajina Z, Purišić. Radioterapija. Nakladni zavod Globus, Klinika za tumore, Hrvatska liga protiv raka. Zagreb, 1996.