

LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRO

Į S A K Y M A S

**DĖL NORMATYVINIŲ DOKUMENTŲ, REGLAMENTUOJANČIŲ APLINKOS
ELEMENTŲ UŽTERŠTUMO RADIONUKLIDAIŠ MATAVIMUS, PATVIRTINIMO**

2000 m. spalio 16 d. Nr. 417
Vilnius

Siekdamas užtikrinti aplinkos monitoringo duomenų kokybę ir vadovaudamasis Lietuvos Respublikos aplinkos monitoringo įstatymu (Žin., 1997, Nr. [112-2824](#)) bei Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos nuostatais (Žin., 1998, Nr. [84-2353](#)):

1. T v i r t i n u šiuos Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos normatyvinius dokumentus:

1.1. LAND 36-2000 „Aplinkos elementų užterštumo radionuklidais matavimas – mėginių gama spektrinė analizė spektrometru, turinčiu puslaidininkinį detektorių“ (pridedama);

1.2. LAND 37-2000 „Aplinkos elementų užterštumo radionuklidais matavimas – vandenyje ištirpusio cezio radionuklidų koncentravimas sorbuojančiaisiais filtrais ir vandens tūrinio aktyvumo įvertinimas“ (pridedama).

2. Aplinkos ministerijos informacijos kompiuterinėje sistemoje vadovautis reikšminiais žodžiais „valdymo sistema“.

APLINKOS MINISTRAS

DANIUS LYGIS

PATVIRTINTA
Lietuvos Respublikos aplinkos ministro
2000 m. spalio 16 d. įsakymu Nr. 417

SUDERINTA
Sveikatos apsaugos ministerijos
2000 m. liepos 18 d. raštu Nr. 31-08-6927

APLINKOS ELEMENTŲ UŽTERŠTUMO RADIONUKLIDAIŠ MATAVIMAS – MĖGINIŲ GAMA SPEKTRINĖ ANALIZĖ SPEKTROMETRU, TURINČIU PUSLAIDININKINĮ DETEKTORIŲ

LAND 36-2000

Normatyvinis dokumentas įsigalioja nuo 2001 m. sausio 1 d.

I. ĮSPĖJIMAI

1. Jonizuojančioji spinduliuotė kenkia žmonių sveikatai ir aplinkai! Dirbant su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais, būtina laikytis radiacinės saugos reikalavimų [4.1, 4.2].
2. Kai kurie naudojami chemikalai yra pavojingi! Darbuotojai, naudodami pavojaus ženklų pažymėtas medžiagas, privalo laikytis saugos taisyklių.
3. Darbuotojai turi laikytis darbo su elektros prietaisais ir kriogeniniais indais taisyklių bei būti susipažinę su įprasta darbo laboratorijoje tvarka.

II. TAIKYMO SRITIS

4. Šis metodas taikomas gama kvantus spinduliuojančių radionuklidų aktyvumui bei tūriniam ir savitajam aktyvumui aplinkos elementų (objektų) mėginiuose įvertinti. Jis privalomas asmenims, vykdančioms aplinkos taršos radionuklidais kontrolę ir valstybinį, savivaldybių bei ūkio subjektų aplinkos monitoringą.
5. Metodo taikymo ribos:
 - 5.1. matavimo ribos – nuo 0,01 – 1 Bq iki ≈ 10 kBq priklausomai nuo detektoriaus jautrumo, foninės spinduliuotės, matuojamojo radionuklido savybių (gama kvantų energijos ir kvantų emisijos tikimybės) bei matavimo trukmės;
 - 5.2. matuojamų energijų sritis – nuo 50 keV (≈ 30 keV, kai detektorius turi berilio langelį) iki 2 MeV (specialieji detektoriai būna skirti kitokioms energijos sritims);
 - 5.3. matavimo trukmė – nuo 1 minutės iki 1 savaitės (priklauso nuo mėginio aktyvumo, detektoriaus jautrumo, foninės spinduliuotės, matuojamojo radionuklido savybių bei būtino tikslumo);
 - 5.4. matavimo paklaida – nuo 5 iki 30 % (priklauso nuo detektoriaus efektyvumo, kalibravimo tikslumo, mėginio aktyvumo, mėginio paruošimo būdo, foninės spinduliuotės, matuojamojo radionuklido savybių bei matavimo trukmės).

III. NORMATYVINĖS NUORODOS

6. Šiame dokumente yra nuorodos į šiuos norminius dokumentus:
 - 6.1. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 1999 05 25 nutarimą „Dėl veiklos su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais licencijavimo“ (Žin., 1999, Nr. [47-1485](#));
 - 6.2. Lietuvos higienos normą HN 73-1997 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“ (Žin., 1998, Nr. [1-31](#));
 - 6.3. LST ISO 31-9:1996. Dydžiai ir vienetai – 9 dalis: atomo ir branduolio fizika;

6.4. LST ISO 31-10:1996. Dydžiai ir vienetai – 10 dalis: branduolinės reakcijos ir jonizuojančiosios spinduliuotės.

IV. SĄVOKOS

7. Šiame dokumente vartojamos sąvokos [6.3, 6.4, F.10-F.13]:

7.1. **aktyvumas** – radionuklidų kiekis, tam tikru metu esantis tam tikros energetinės būsenos, išreikštas formule:

$$A = \frac{dN}{dt};$$

čia: A – aktyvumas, dN – savaiminių branduolinių virsmų (šuolių iš minėtos energetinės būsenos) per laiko tarpą dt tikėtinas skaičius. Vienetai: s^{-1} , specialus vieneto pavadinimas Bq, $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$;

7.2. **savitasis aktyvumas** – mėginio aktyvumo ir jo masės santykis. Vienetas: Bq/kg;

7.3. **savųjų radionuklidų efektingieji aktyvumai** – efektingas foninių radionuklidų aktyvumų vertės, įvertintos spektrometrinėje sistemoje nesant matuojamojo mėginio. Vienetai: Bq, Bq/kg;

7.4. **tūrinis aktyvumas** – mėginio aktyvumo ir jo tūrio santykis. Vienetas: dujose – Bq/m³, skysčiuose – Bq/l;

7.5. **deaktyvavimas** – radioaktyviųjų medžiagų šalinimas nuo žmogaus kūno, aprangos, aparatūros ir kitų objektų;

7.6. **detektorius** – įtaisas spinduliuotei aptikti;

7.7. **detektavimo riba** – mažiausias išmatuojamas mėginio aktyvumas;

7.8. **efektinga trukmė** („gyvasis laikas“) – spektro kaupimo trukmė, neįskaičiuojant laiko tarpo, kai spektrometrinė sistema yra neveikos būsenos. Vienetas: s (sekundė);

7.9. **ėminys** – medžiaga, paruošta siųsti į laboratoriją, ir skirta bandymams;

7.10. **gama spinduliuotė** – fotoninė diskrečiojo spektro spinduliuotė, susidaranti kintant energinei atomų branduolių būsenai arba išmedžiagėjant elementariosioms dalelėms;

7.11. **gama kvanto emisijos tikimybė** – tikimybė, kad radionuklido branduolio virsmo metu bus išspinduliuotas tam tikros energijos gama kvantas;

7.12. **kalibravimas** – eksperimentinis matavimo priemonės rodmenų susiejimas su atitinkamo matuojamojo dydžio vertėmis;

7.13. **spektrometrinės sistemos energetinis kalibravimas** – eksperimentinis kanalo numerio susiejimas su kvantų energija;

7.14. **spektrometrinės sistemos efektyvumo kalibravimas** – eksperimentinis kvantų registravimo efektyvumo nustatymas;

7.15. **kryžminis užteršimas** – mėginio ar ėminio užteršimas kitų ėminių ar mėginių radionuklidais;

7.16. **matavimo indas** – tam tikros formos indas, kuriame matavimo metu būna matuojamasis mėginys;

7.17. **mėginys** – ėminio medžiagos kiekis, kurios bandymas ir stebėjimas atliekamas tiesiogiai;

7.18. **nešiklis** – cheminis junginys, į kurio sudėtį įeina radionuklidą atitinkančio elemento stabilus atomas;

7.19. **neveika** („mirties laikas“) – santykinė laiko trukmė, kada matavimo prietaisas (detektorius) yra laikinai praradęs gebėjimą aptikti spinduliuotę. Vienetas: %;

7.20. **atsitiktinė paklaida** – matavimo rezultato ir to paties matuojamojo dydžio be galo daug kartų kartojimosi sąlygomis atliktų matavimų vidurkio skirtumas;

7.21. **matavimo paklaida** – matuojamojo dydžio matavimo rezultato ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės skirtumas;

7.22. **santykinė paklaida** – matavimo paklaidos ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės santykis. Vienetas: %;

7.23. **radionuklidas** – atomo branduolys, kuriam būdingas radioaktyvusis skilimas;

7.24. **spektrometrinės sistemos efektyvumas** – tikimybė, kad spektrometrinė sistema užregistruos iš gama spinduliuotės šaltinio išspinduliuotą gama kvantą;

7.25. **pusėjimo trukmė** – vidutinis laiko tarpas, per kurį suskyla pusė radioaktyviojo izotopo branduolių. Vienetas: s (sekundė);

7.26. **sertifikuotas standartinis radionuklidų tirpalas** – tirpalas su tiksliai žinomais radionuklidų tūriniais aktyvumais, kuriame esančių radionuklidų tūrinių aktyvumų nustatymas yra patvirtintas sertifikatu;

7.27. **skyra** – rodmenų įtaiso rodmenų skirtumas, kurį dar galima reikšmingai suvokti;

7.28. **pamatinis šaltinis** – tiksliai žinomo aktyvumo (arba savitojo aktyvumo) jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis, skirtas kalibruoti;

7.29. **sertifikuotas pamatinis šaltinis** – tiksliai žinomo aktyvumo (arba žinomo savitojo aktyvumo) jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis, kuriame esančių radionuklidų aktyvumų nustatymas patvirtintas sertifikatu;

7.30. **laboratorijos (darbinis) pamatinis šaltinis** – kalibruoti skirtas jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis, pagamintas iš sertifikuoto standartinio tirpalo (medžiagos).

V. METODO ESMĖ IR PRINCIPAS

8. Branduolinis virsmas gali būti susijęs su vieno ar keleto gama kvantų emisija. Skirtingų radionuklidų gama kvantų energijos yra skirtingos. Pagal gama kvantų energiją galima atpažinti gama kvantus spinduliuojančius radionuklidus. Gama kvantai, praeidami pro užtvartinį puslaidininkinio kristalo sluoksnį, jame sukuria krūvininkus – laisvuosius elektronus bei skyles ir kristalu prateka elektros srovės impulsas. Jo stiprumas yra proporcingas kvanto energijai. Sustiprinti elektriniai impulsai analizuojami ir sumuojami daugiakanalais impulsų analizatoriais. Pagal radionuklidų spinduliuojamų gama kvantų energiją atitinkančių impulsų skaičių įvertinamas mėginio aktyvumas (A priedas).

VI. PRIETAISAI, ĮRANGA IR MEDŽIAGOS

9. Mėginiams paruošti ir analizuoti būtini šie prietaisai, įranga bei medžiagos:

9.1. gama spektrometrinė sistema (A priedas);

9.2. Diuaro indas skystam azotui laikyti;

9.3. svarstyklės (svėrimo ribos nuo 0 iki 3 kg, tikslumas 0,5 g);

9.4. sietas (akučių matmenys 2x2 mm) stambesnėms priemonėms atskirti (būtinai tik dirvožemio ir dugno nuosėdų mėginiams);

9.5. homogenizatorius mėginiams homogenizuoti (gali būti buitinis maisto smulkintuvas);

9.6. mėginių rūši ir detektoriaus tipą optimaliai atitinkantys polietileniniai matavimo indai (Marinelli indas – nuo 0,5 iki 3 l arba cilindrai ir lėkštelės – nuo 2 iki 100 ml tūrio) su dangčiais (A priedas);

9.7. džiovavimo spinta (gebanti palaikyti pastovią 110 °C temperatūrą) mėginiams džiovinti (kai mėginiai džiovinami);

9.8. deginimo krosnis (iki 500 °C) mėginiams deginti (kai mėginiai deginami);

9.9. pamatinis gama spinduliuotės šaltinis arba sertifikuotas standartinis radionuklidų tirpalas (radionuklidų aktyvumų vertės žinomos ne mažesniu nei $\pm 3\%$ tikslumu) gama spektrometrinei sistemai kalibruoti (10.5 skirsnis);

9.10. ^{137}Cs arba kito ilgaamžio radionuklido, turinčio gama liniją matavimo energijų srityje, šaltinis sistemos stabilumo kontrolei vykdyti (rekomenduojamas uždarysis, taškinis, nebūtinai atestuotas, apie 1 kBq aktyvumo šaltinis);

9.11. presas mėginiams presuoti į tabletes (kai mėginiai presuojami);

9.12. koncentruota druskos rūgštis vandens mėginiams parūgštinti (būtinai tik analizuojant vandens mėginius);

9.13. azoto rūgšties 3 M tirpalas indams deaktyvuoti;

- 9.14. etilo spiritas prietaisams deaktyvuoti;
 9.15. skystas azotas germanio detektoriui šaldyti.

VII. ĖMINIAI IR MĖGINIAI

10. Ėminio paėmimas. Kadangi šis metodas tinka radionuklidų aktyvumams įvairiuose objektuose matuoti, gali būti taikomos kelios medžiagos ėminių ėmimo metodikos [F.1-F.5]. Ėmimo metodika pasirenkama atsižvelgiant į tiriamo objekto bei matuojamojo izotopo prigimtį, savitąjį aktyvumą ir reikalingą matavimo tikslumą. Ėminiai patikimai (vandeniu nenuplaunamu markeriu arba etiketėje) pažymimi ir apsaugomi nuo kryžminio užteršimo. Užpildomas ėminio protokolas, nurodant objektą, ėminio ėmimo vietą ir datą bei ėminį paėmusiojo asmens vardą ir pavardę.

11. Mėginio paruošimas:

11.1. Kai medžiagos savitasis (tūrinis) aktyvumas pakankamas, aktyvumai matuojami tiesiogiai (nekoncentravus ir chemiškai neapdorėjus). Šiuo atveju aplinkos elementų mėginiai ruošiami taip:

11.1.1. iš dirvožemio ir dugno nuosėdų mėginio pašalinama žolė ir šaknys, dirvožemis paskleidžiamas padėkluose ir išdžiovinamas 80-100°C temperatūroje. Sausas dirvožemis smulkinamas, išsijojamas, supilamas į matavimo indą ir pasveriamas. Akmenukai pasveriami atskirai ir išmetami;

11.1.2. vandens mėginys parūgštinamas druskos rūgštimi (1 ml rūgšties į 1 l vandens), supilamas į matavimo indą ir pasveriamas. Parūgštinti rekomenduojama iškart, paėmus vandens ėminį;

11.1.3. biologinių objektų mėginių savitieji aktyvumai matuojami nedžiovinatoje arba sausoje medžiagoje. Gyvūnų audinių savitasis aktyvumas vertinamas nedžiovinatoje, o augmenijos (ir sausumos, ir vandens) – sausoje medžiagoje. Antruoju atveju medžiaga išdžiovinama temperatūroje, neviršijančioje 105 °C. Džiovinimo trukmė priklauso nuo drėgmės kiekio mėginiuose ir yra ne trumpesnė kaip 24 valandos. Abiem atvejais susmulkinta ir gerai sumaišyta medžiaga supilama į matavimo indą. Nedžiovinotos medžiagos mėginys sveriamas susmulkintas, o sausos medžiagos – išdžiovinatas.

11.2. Visais atvejais matavimo indas (Marinelli arba cilindras) pripildomas pilnas arba iki nustatytos žymės (lygio, atitinkančio pamatinio šaltinio lygį) ir uždengiamas dangčiu.

11.3. Kai mėginių savitieji aktyvumai nepakankami, detektavimo ribai sumažinti mėginį būtina koncentruoti:

11.3.1. oro filtras ir atmosferos iškritų surinkimo marlė išdžiovinama temperatūroje, neviršijančioje 100 °C. Po to mėginys supresuojamas arba sudeginaamas temperatūroje, neviršijančioje 450 °C. Supresuota tabletė arba pelenai atsargiai (kuo mažiau prarandant) perkeliama į matavimo indą. Pelenai suslegiami. **Mėginys nedeginamas, jei yra galimybė, kad jame gali būti jodo radionuklidų – deginant mėginį jodas prarandamas;**

11.3.2. biologinių objektų medžiaga susmulkinama, pasveriamas ir išdžiovinamas temperatūroje, ne aukštesnėje kaip 100 °C. Sausas mėginys pasveriamas ir sudeginaamas (išskyrus bandinius, kuriuose gali būti jodo radionuklidų). Kad mėginys neužsiliepsnotų, pradžioje temperatūra didinama lėtai (per 1–2 val. iki 150–200 °C), o po to greičiau (per 30 min. iki 450 °C). 450 °C temperatūroje deginama apie 16 valandų. Pelenai atsargiai (kuo mažiau prarandant) supilami į matavimo indą, suslegiami ir pasveriami;

11.3.3. vandens ėminys koncentruojamas vienu iš šių būdų: garinimo [F.4] (parūgštintas vanduo garinamas virš vandens vonios, prieš tai pridėjus atitinkamo nešiklio), nusodinimo cheminiais reagentais [F.3] ir sorbavimo jonitinėmis dervomis arba filtrais [F.4, F.5]. Norint išmatuoti foninius radionuklidų tūrinius aktyvumus, koncentruojamas didelio (50-200 l) tūrio vandens ėminys. Transportuojant ir saugant ėminį, indo sienelės, vandenyje esančios skendinčiosios dalelės bei besivystantys dumbliai sorbuoja radionuklidus. Radionuklidų nuostoliams sumažinti pasemtas vandens ėminys iš karto parūgštinamas (1 ml druskos rūgšties į 1 l vandens) ir laikomas

polietileno talpykloje. Nuostoliai sumažėja vandens ėminį užšaldžius. Tuo pačiu metu imant ėminį ir jį koncentruojant, galima išvengti radionuklidų nuostolių bei supaprastinti ėminių transportavimą bei saugojimą. Garinimo privalumas tas, kad sukonzentruojami visi radionuklidai (išskyrus lakiuosius). Tačiau jis tinka tik gėlo vandens atveju, nes didelė druskų koncentracija trikdo vandens garinimą. Jonitinės dervos itin gerai tinka gėlam vandeniui, nes vandenyje ištirpusios druskos neleidžia sulaikyti radionuklidus. Sulaikymo efektyvumas priklauso nuo vandens srauto greičio, nuklidų cheminės formos, stabilų izotopų ir kitų ištirpusių medžiagų koncentracijų, todėl kiekvieno tiriamo vandens telkinio atveju būtina šiuo metodu gautus rezultatus palyginti su rezultatais, gautais kitais metodais.

11.4. Iš mėginio medžiaga pripildyto matavimo indo masės atimama tuščio indo (su dangčiu) masė. Matavimo indas patikimai pažymimas, ant jo ar ant priklijuotos etiketės vandeniui nenuplaunamu žymekliu užrašant mėginio kodą, masę (be indo masės) ir paruošimo datą. Šie duomenys bei ėminio paėmimo vieta ir data užrašomi į laboratorijos žurnalą.

Matavimui paruoštų mėginių nelaikykite greta ruošiamų mėginių, o indus uždenkite – sumažinsite mėginių kryžminio užsiteršimo galimybę!

VIII. PROCEDŪROS

12. Matavimas:

12.1. mėginio medžiaga pripildytas matavimo indas padedamas ant matavimui paruoštos, kalibruotos gama spektrometrinės sistemos detektoriaus nustatytoje, lengvai atkartojamoje, padėtyje (prietaisas turi būti kalibruotas esant šiai geometrinei konfigūracijai, 14 ir 15 skirsniai). Detektorius turi būti saugomas nuo užteršimo – matuojant didelio aktyvumo mėginius, matavimo indas su mėginiu turi būti įdėtas į polietileno maišelį arba detektorius uždengiamas polietileno plėvele;

12.2. atsižvelgiant į numatomą mėginio aktyvumą, nustatoma matavimo trukmė (kai spektrometrinė sistema veikia automatinio režimu) arba užrašomas matavimo pradžios laikas ir įjungiama spektro kaupimo sistema. Matavimo trukmė turi būti tokia, kad gama smailėje būtų sukaupta pakankamai (ne mažiau kaip 1 000) impulsų. Priklausomai nuo mėginio aktyvumo, gama detektoriaus efektyvumo ir būtino tikslumo kaupimas gali tęstis nuo poros minučių iki savaitės. Kuo ilgesnė matavimo trukmė – tuo tikslesni matavimo rezultatai;

12.3. būtina patikrinti prietaiso neveiką (kai spektrometrinė sistema neveikos vertę rodo matavimo metu). Jeigu neveikia viršija 10 %, geometrinė konfigūracija turi būti pakeista (prietaisas turi būti kalibruotas šios geometrinės konfigūracijos) – mėginys turi būti atitolintas arba jo masė sumažinta (paprastai automatizuotos sistemos rodo prietaiso neveiką matavimo metu);

12.4. pasibaigus matavimo laikui, spektro kaupimo sistema išjungiama (automatiniame režime išsijungia automatiškai). Sukauptas spektras įrašomas į atmintį (jeigu matavimo sistema sujungta su kompiuteriu), o spektro identifikavimo kodas, bylos pavadinimas, matavimo trukmė, data, mėginio numeris ir duomenys apie geometrinę konfigūraciją bei pastabos – į laboratorijos žurnalą.

13. Įrangos deaktyvavimas. Panaudoti indai ir kitos panaudotos priemonės plaunamos parūgštintu distiliuotu vandeniui (1 ml koncentruotos azoto rūgšties į 1 litrą vandens) ir išvalomos vata, sudrėkinta etilo spiritu. Detektoriaus ir šarvo paviršius reguliariai (kas savaitę) arba, išmatavus didelio aktyvumo mėginį, būtina valyti etilo spiritu sudrėkinta vata.

14. Gama spektrometrinės sistemos energetinis kalibravimas:

14.1. energetinio kalibravimo tikslas – susieti spektrometro kanalo numerį su gama kvantų energija. Energetinis kalibravimas atliekamas naudojant naują prietaisą, po jo remonto ar derinimo, arba dėl kitų veiksnių pakitus jo parametrų (kartais parametrai kinta pasikeitus temperatūrai laboratorijoje bei matuojant labai aktyvų mėginį). Kalibruoti naudojamas žinomos izotopinės sudėties radioaktyvusis šaltinis (tūrinis arba taškinis, nebūtinai tiksliai žinomo aktyvumo), turintis gama linijas (bent 2–3 linijas) visame matuojamų energijų intervale;

14.2. sukaupus šaltinio gamą spektrą (ne mažiau kaip 1 000 impulsų kiekvienoje gama smailėje, pagal kurias atliekamas kalibravimas), yra identifikuojamos linijos (nustatoma jas

sukuriančių gama kvantų energija) ir nubrėžiama kalibravimo kreivė (smailės centrą atitinkančio kanalo numerio priklausomybė nuo energijos). Paprastai kalibravimo procedūra yra spektrometrinės sistemos valdymo ir spektrų apdorojimo programinės įrangos sudėtinė dalis ir sistemą galima kalibruoti automatiškai. Tokiu atveju kalibravimas atliekamas vadovaujantis programinės įrangos gamintojo instrukcija.

15. Gama spektrometrinės sistemos efektyvumo kalibravimas:

15.1. efektyvumo kalibravimas atliekamas pradedant naudoti naują prietaisą, po jo remonto ar derinimo, arba pakitus jo parametrams. Parenkama lengvai atkartojama, optimali geometrinė konfigūracija (matavimo indo forma ir jo padėtis). Būtina atsižvelgti į mėginių tūrį, savitąjį aktyvumą ir tankį. Mažai aktyviems, didelio tūrio vienalyčiams biriams ir skystiems, dažniausiai nekoncentruotiems mėginiams naudojami nuo 0,5 iki 3 l talpos Marinelli indai. Kai mėginių tūris mažas arba itin didelis aktyvumas, naudojami cilindriniai 20–100 ml talpos indai arba lėkštelės su dangteliais. Matuojant turi būti kuo tiksliau atkartojama matavimo konfigūracija – ir nedideli mėginio formos ar tankio pokyčiai mažina matavimo tikslumą;

15.2. efektyvumo kalibravimui užtikrinti turi būti naudojamas sertifikuotas pamatinis šaltinis arba laboratorijos pamatinis šaltinis. Pamatinio šaltinio forma ir tūris turi atitikti matuojamų mėginių formą ir tūrį, o tankis bei savitasis aktyvumas turi būti artimi mėginių tankiui bei savitajam aktyvumui. Gama linijos turi būti viso matuojamų energijų diapazono ribose. Energijų intervale nuo 60 keV iki 300 keV gama linijos turi būti išsidėsčiusios kas 50 keV, nuo 300 keV iki 1400 keV – kas 200 keV ir bent vieną liniją intervale nuo 1400 keV iki 2000 keV. Venkite naudoti radionuklidus, turinčius kaskadinius branduolinius virsmus (pavyzdžiui, ^{60}Co , ^{88}Y , ^{133}Ba , ^{152}Eu , ^{134}Cs) bei ^{40}K ;

15.3. nesant sertifikuoto pamatinio šaltinio, būtiną laboratorijos pamatinį šaltinį reikia pagaminti skiedžiant sertifikuotą standartinį radionuklidų tirpalą parūgštintu (1 ml koncentruotos azoto rūgšties į 1 l vandens) distiliuotu vandeniu arba matuojamajai medžiagai artimos sudėties vienalyčiu užpildu. Užtikrinus, kad radionuklidai vienodai pasiskirstę, tirpalu (mišiniu) pripildomas matavimo indas (pilnas arba iki nustatytos žymės) ir pasveriamas. Apskaičiuojamas aktyvumas ir savitasis aktyvumas. Pagamintas šaltinis pažymimas vandeniu nenuplaunamu markeriu užrašant šaltinio numerį, radionuklidų aktyvumus ir datą. Paprastai spektrometras iš karto kalibruojamas kelioms kelių tipų konfigūracijoms ir aktyvumų mėginiams, todėl vienu metu gaminami keli laboratorijos pamatiniai šaltiniai. Laboratorijos pamatiniai šaltiniai gali būti gaminami ir iš sertifikuoto biraus šaltinio. Šiuo atveju matavimo indas pripildomas sertifikuoto šaltinio medžiaga iki žymės ir pasveriamas;

15.4. kalibravimo šaltinis padedamas ant detektoriaus tam tikros padėties, įjungiamo spektro kaupimo sistema ir sukaupiamas gama spektras (ne mažiau kaip 1000 impulsų gama smailėje, naudojamos kalibruoti);

15.5. sukauptas spektras įrašomas į atmintį (jeigu matavimo sistema sujungta su kompiuteriu), o spektro identifikavimo kodas, bylos pavadinimas, kalibravimo data ir trukmė bei išsamūs duomenys apie kalibravimo šaltinį (aktyvumą bei geometrinę konfigūraciją) ir spektrometrinės sistemos veikimo režimą bei pastabos – į laboratorijos žurnalą;

15.6. sukauptas spektras apdorojamas – identifikuojami radionuklidai ir apskaičiuojami kalibruoti naudojamų gama smailių plotai (impulsų skaičius kiekvienoje smailėje, D priedas);

15.7. apskaičiuojamas kiekvienos kalibruoti naudojamos gama spektro linijos sistemos efektyvumas η :

$$\eta = \frac{(N - N_f) \cdot \exp(0,693 \cdot \Delta t / T_{1/2})}{t_e \cdot A \cdot p_\gamma};$$

čia: N – bendras impulsų skaičius smailėje (vnt.); N_f – „foninis“ impulsų skaičius (impulsų po tiriamąją smaile skaičius) (vnt.); t_e – matavimo efektinė trukmė (s); A – kalibravimo (pamatinio) šaltinio aktyvumas arba savitasis aktyvumas (Bq arba Bq/kg); p_γ – gama kvanto emisijos tikimybė (E priedas); Δt – laikas, praėjęs nuo kalibravimo šaltinio (arba sertifikuoto standartinio tirpalo, iš

kurio pagamintas laboratorijos pamatinis šaltinis) atestavimo iki kalibravimo (dienos), $T_{1/2}$ – radioizotopo pusėjimo trukmė (dienos). Paprastai prietaiso efektyvumo nustatymo procedūra yra spektrometrinės sistemos valdymo ir spektrų apdorojimo programinės įrangos sudėtinė dalis. Tokiu atveju kalibravimas atliekamas automatiškai, vadovaujantis programinės įrangos gamintojo instrukcija.

Sistema turi būti suderinta ir sureguliuota iki efektyvumo nustatymo ir neturi būti reguliuojama iki kito sistemos efektyvumo nustatymo!

16. Tuščias matavimas. Iki spektrometrinės sistemos naudojimo pradžios būtina reguliariai (kas metai) įvertinti spektrometrinės sistemos ir detektoriaus aplinkos radionuklidų poveikį (B priedas). Ant detektoriaus padedamas matavimo indas su distiliuotu vandeniu ir sukaupiamas spektrometrinės sistemos savitasis („foninis“) spektras. Kaupimo trukmė turi būti ne mažesnė už mėginių matavimo trukmę ir priklausyti nuo būtino tikslumo. Spektras apdorojamas ir įvertinami spektrometrinės sistemos savųjų radionuklidų efektingi aktyvumai (B priedas). Matavimai turi būti kartojami visų naudojamų formų matavimo indams.

IX. SKAIČIAVIMAI

17. Spektrų analizė. Sukauptas spektras išanalizuojamas – identifikuojami radionuklidai ir apskaičiuojami kalibruoti naudojami gama smailių plotai – impulsų skaičius bei foninių impulsų skaičius kiekvienoje tiriamojoje smailėje (D priedas). Tam spektras aproksimuojamas Gauso pasiskirstymo formos kreive mažiausių kvadratų metodu. Analizė atliekama taip: smailių paieška, energijų nustatymas, radionuklidų identifikavimas naudojantis radionuklidų biblioteka (E priedas), impulsų skaičiaus tiriamojoje smailėje ir foninio impulsų skaičiaus įvertinimas. Paprastai spektrų analizės procedūros yra spektrometrinės sistemos valdymo ir spektrų apdorojimo programinės įrangos sudėtinė dalis. Spektrų analizę atliekant automatiškai, vadovaujamas programinės įrangos gamintojo instrukcija.

18. Aktyvumas:

18.1. radionuklidų savitieji aktyvumai skaičiuojami pagal formulę:

$$C = \frac{(N - N_f)}{t_e \cdot p_\gamma \cdot \eta \cdot Q};$$

čia: N – bendras impulsų skaičius tiriamojoje smailėje, N_f – „foninis“ impulsų skaičius tiriamojoje smailėje, C – tiriamojo radionuklido savitasis aktyvumas (Bq/kg) arba tūrinis aktyvumas (Bq/m³), t_e – efektinga matavimo trukmė (s), Q – mėginio kiekis (masė (kg) arba tūris (m³), h – spektrometrinės sistemos efektyvumas, p_γ – gama kvanto emisijos tikimybė (E priedas). Spektrų analizę ir aktyvumo skaičiavimus atliekant automatiškai, vadovaujamas programinės įrangos gamintojo instrukcija;

18.2. kai matuojamieji radionuklidai yra aptinkami spektrometrinės sistemos savitajame spektre, iš C reikšmės atimamos spektrometrinės sistemos savųjų radionuklidų efektingi aktyvumų vertės (16 skirsnis);

18.3. jeigu nuo ėminio paėmimo iki matavimo Δt praėjo daugiau negu 1% radioizotopo pusėjimo trukmės $T_{1/2}$, matavimų rezultatas pakoreguojamas, padauginus jį iš koeficiento k_1 :

$$k_1 = \exp(0,693 \cdot \Delta t / T_{1/2}).$$

Koreguoti nereikia, kai matuojamieji radionuklidai yra pusiausvyroje su ilgaamžiais motininiais radionuklidais (pavyzdžiui, gamtiniai urano ir torio šeimų nariai);

18.4. jeigu matavimo trukmė t yra daugiau negu 1% pusėjimo trukmės $T_{1/2}$, rezultatas padauginamas (išskyrus radionuklidus, kurie yra pusiausvyroje su ilgaamžiais motininiais radionuklidais) iš koeficiento k_2 :

$$k_2 = \frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}} \cdot (1 - \exp(-0,693 \cdot t / T_{1/2}));$$

18.5. jeigu matuojamas koncentruotas mėginys, o gauti rezultatai susiję su nekoncentruotu mėginiu, aktyvumas perskaičiuojamas, matavimo rezultatą dauginant iš koeficiento k_3 :

$$k_3 = m_2 / m_1;$$

čia m_1 – mėginio masė prieš koncentravimą (g), m_2 – koncentruoto mėginio masė (g).

19. Paklaidos. Paklaidas lemia daugelis priežasčių: ėminio nereprezentatyvumas ir mėginio nehomogeniškumas, ėminių ar mėginių kryžminis užsiteršimas, skirtingų radionuklidų gama smailių persiklojimas, netikslumai sveriant, matuojant tūrį, pamatinio šaltinio aktyvumą, branduolių virsmų atsitiktinė prigimtis (statistinė paklaida). Kryžminiam užsiteršimui išvengti skirtingos prigimtys ir skirtingų aktyvumų mėginius rekomenduojama imti skirtinga įranga, o matuoti skirtingais prietaisais.

Sisteminė paklaida susideda iš dviejų sudedamųjų dalių: vieną jų lemia spektrometrinės sistemos efektyvumo įvertinimo paklaida (iki 5%), o kitą – mėginio nevienalytiškumas bei nukrypimas nuo nustatytos matavimo konfigūracijos (iki 5%).

Atsitiktinės santykinės paklaidos dedamoji dalis Δ , nulemta atsitiktinės branduolių virsmų prigimtys, įvertinama taip:

$$\Delta = \frac{\sqrt{N + N_f}}{N - N_f};$$

čia: N – bendras impulsų skaičius tiriamojoje smailėje, N_f – „foninis“ impulsų skaičius. Spektrų analizę ir paklaidų skaičiavimus atliekant automatiškai, vadovaujasi programinės įrangos gamintojo instrukcija.

20. Detektavimo riba. Detektavimo riba (mažiausias išmatuojamas aktyvumas) D_L įvertinama pagal formules:

$$D_L = \frac{2,71 + 4,65\sqrt{N_f}}{\eta p_\gamma t_e} \text{ (kai neišryškėja smailė);}$$

$$D_L = \frac{2,71 + 3,29\sqrt{N_f + (1 + n / 2m)}}{\eta p_\gamma t_e} \text{ (kai išryškėja smailė);}$$

čia: η – tam tikros energijos kvantų registravimo efektyvumas, p_γ – atitinkamos energijos gama kvanto emisijos tikimybė, n – kanalų skaičius smailėje, m – kanalų skaičius „foniniam“ impulsų skaičiui įvertinti (rekomenduojama $m=3$), t_e – efektinė matavimo trukmė (s). Spektrų analizę atliekant ir detektavimo ribą vertinant automatiškai, vadovaujasi programinės įrangos gamintojo instrukcija.

X. KOKYBĖS UŽTIKRINIMAS

21. Reguliariai (ne rečiau kaip kartą per mėnesį) bei prieš kiekvieną matavimų ciklą ir po didelio aktyvumo mėginių turi būti patikrinama, ar neužsiteršę gama spektrometrinė sistema:

21.1. foninio gama spektro matavimas atliekamas be mėginio; spektro kaupimo trukmė visada turi būti ta pati;

21.2. impulsai susumuojami visoje matuojamų energijų srityje, rezultatas užrašomas ir palyginamas su ankstesniaisiais bei pavaizduojamas grafiškai;

21.3. jeigu impulsų suma padidėja daugiau nei 10 %, sistema turi būti deaktyvuojama ir procedūra atliekama dar kartą.

22. Reguliariai (kas mėnesį) bei prieš kiekvieną matavimų ciklą turi būti patikrinamas gama spektrometrinės sistemos stabilumas:

22.1. pasirenkama lengvai atkartojama šaltinio padėtis ir naudojamas ilgaamžių radionuklidų šaltinis, kuriam būdinga gama linija matavimo energijų srityje (pvz., ^{137}Cs); gali būti taškinis uždaras šaltinis;

22.2. atliekamas gama spektro matavimas, sukaupiant ne mažiau kaip 10 000 impulsų spektro linijos srityje, spektras įrašomas ir apdorojamas;

22.3. matavimo rezultatai įrašomi į kokybės kontrolės žurnalą ir pavaizduojami grafiškai;

22.4. rezultatas palyginamas su ankstesniaisiais; jeigu rezultatas nuo vidutinio skiriasi ne daugiau kaip 10 %, vadinasi, spektrometrinė sistema veikia be sutrikimų. Priešingu atveju būtina pakartotinai atlikti sistemos kalibravimą.

XI. SPECIALIEJI ATVEJAI

23. Radiacinių avarių ir ypatingųjų situacijų atvejais džiovinimo, deginimo bei kitos koncentravimo procedūros neatliekamos ir radionuklidų savitieji aktyvumai skaičiuojami esant grynai masei.

24. Mėginys nedeginamas, jeigu yra tikimybė, kad jis gali būti užterštas jodo radionuklidais, pasižyminčiais lakumu, kurių aktyvumus būtina matuoti.

GAMA SPEKTROMETRINĖ SISTEMA

Gama spektrometrinė sistema susideda iš gryno germanio arba germanio su įterptu ličiu detektoriaus, elektrinių impulsų stiprinimo, formavimo, analizės ir registravimo elektroninės įrangos, apsauginio šarvo bei maitinimo šaltinio. Paprastai į šiuolaikinių spektrometrinių sistemų sudėtį įeina ir kompiuteris su specialia spektrometrinės sistemos valdymo bei spektrų apdorojimo programine įranga.

Detektorius yra pagrindinis spektrometrinės sistemos elementas. Jis gali būti koaksialinės (jautri sritis yra iš detektoriaus galo ir šonų), plokščios (jautri sritis yra iš detektoriaus galo) arba „šulinio“ formos (detektoriaus jautrioje srityje yra mėginiui skirta ertmė). Koaksialiniai detektoriai yra tinkamiausi, kai tenka matuoti didelio tūrio mažai aktyvius (dažniausiai neapdorotus) mėginius. Jie paprastai naudojami su Marinelli formos (turinčiais detektoriaus skersmenį atitinkančią ertmę) matavimo indais. Plokšti detektoriai dažniau naudojami su cilindro ar lėkštelės formos matavimo indais. Kai turimos medžiagos kiekis yra labai ribotas (pavyzdžiui, sukongcentravus kelis šimtus litrų vandens ar sudeginus didelį kiekį žolės), tinkamiausi – „šulinio“ tipo detektoriai (šiuo atveju nebūtinai mėginio vienalytiškumas). Matuojant mažų energijų srityje (< 100 keV), naudojami detektoriai su berilio langeliu, gerai praleidžiančiu mažų energijų gama kvantus. Gama kvantų skyra ^{60}Co 1,33 MeV gama spinduliuose srityje neturėtų viršyti 2 keV, o šios spinduliuose ir Komptono sklaidos amplitudžių santykis turėtų būti didesnis kaip 45:1.

Gama spektrometrai su puslaidininkiniais detektoriais pasižymi labai gera skyra (skiriamąja geba). Naudojant gryno germanio detektorius, galima atskirti gama kvantus, kurių energijos skiriasi ne mažiau kaip 1,5, o naudojant germanio su ličio priemaiša detektorius – ne mažiau kaip 3–5 keV. Kartais naudojamų blyksninių (scintiliatorinių) detektorių skyra nėra pakankama radionuklidams identifikuoti, todėl jie ne visada gali būti taikomi matuoti aplinkos mėginių aktyvumus (tik tais atvejais, kai mėginyje yra keletas žinomų radionuklidų arba pirminės analizės ir mėginių atrankos atvejais).

Germanio detektoriai veikia tik esant žemai temperatūrai. Todėl jie šaldomi skystu azotu (kartais naudojami elektriniai šaldytuvai). **Puslaidininkiniai detektoriai yra itin jautrūs įvairiems poveikiams, todėl juos atšaldykite ar atšildykite bei elektros srovę įjunkite ar išjunkite griežtai pagal gamintojo instrukciją!**

Siekiant sumažinti išorinės spinduliuotės įtaką, detektorius ir matuojamasis mėginys įdedami į švino arba geležies šarvą 5-10 cm storio sienelėmis. Naudotinas „senas“ švinas, kuriame yra mažiau radioaktyviojo ^{210}Pb (pusėjimo trukmė – 21 metai). Matuojant 50-100 keV energijų intervale, siekiant išvengti neigiamo švino rentgeno spinduliuotės poveikio, šarvas iš vidaus padengiamas kelių milimetrų storio vario ir kadmio sluoksniais.

Gama spektrometrinėse sistemose detektorius ir pradinis stiprintuvas paprastai būna sumontuoti viename bloke, o elektrinių impulsų stiprintuvas, keitiklis ir analizatorius – kitame (dažnai vietoj stiprintuvo, impulsų analizatoriaus bei spektrų apdorojimo įrenginio naudojamas kompiuteris). Detektoriuje susidarę srovės impulsai formuojami, stiprinami, o vėliau analizuojami ir saugomi kompiuterio atmintyje. Speciali gama spektrų apdorojimo programinė įranga leidžia identifikuoti radionuklidus bei suskaičiuoti jų aktyvumus. Automatiškai apdorojant spektrus, operatoriaus darbas būna efektyvus, tačiau galimos klaidos: neteisingai įvesti duomenys, netinkamai identifikuoti radionuklidai ar apdorotas spektras. Operatorius turi būti pakankamai kvalifikuotas ir patyręs, kad galėtų teisingai įvertinti gautus rezultatus.

TRUKDŽIAI; SAVOJI (FONINĖ) SPEKTROMETRINĖS SISTEMOS SPINDULIUOTĖ

B.1. Gamtiniai gama spinduliai. Detektoriuje, šarve bei jo konstrukcinėse medžiagose, patalpos sienose, ore, langų stikle ir kitur visada yra gamtinių kalio, radžio, torio, urano radionuklidų bei jų dukterinių produktų. Jų spinduliuojamus gama kvantus registruoja spektrometrinė sistema. Dėl to sumažėja matavimo tikslumas (ypač mažai aktyvių mėginių atvejais). B1 lentelėje pateikti duomenys apie dažniausiai pasitaikančius gamtinius radionuklidus.

B1 lentelė. Gamtinių radionuklidų gama linijos

Gamtiniai radionuklidai	Gama kvantų energija E_γ, keV
^{212}Pb	75,0
^{214}Pb	74,8
^{208}Tl	75,0
^{234}Th	92,9
^{226}Ra	186,2
^{228}Ac	209,3
^{212}Pb	238,6
^{228}Ac	270,2
^{208}Tl	278,0
^{214}Pb	295,2
^{228}Ac	328,0
^{228}Ac	338,3
^{214}Pb	351,9
^{228}Ac	463,0
^{208}Tl	511,0
β^+	511,2
^{208}Tl	583,0
^{214}Bi	609,3
^{212}Bi	727,0
^{228}Ac	794,7
^{208}Tl	860,4
^{228}Ac	911,1
^{214}Bi	1 120,3
^{214}Bi	1 238,1
^{214}Bi	1 377,7
^{40}K	1 460,8
^{208}Tl	1 592,5
^{212}Bi	1 620,6
^{228}Ac	1 630,4
^{214}Bi	1 729,6
^{214}Bi	1 764,5

B.2. Kosminė spinduliuotė. Tam tikrą spektrometrinės sistemos savosios spinduliuotės dalį sąlygoja kosminė spinduliuotė. Didelės energijos (iki 10^8 - 10^9 GeV) pirminės kosminės dalelės, susidurdamos su atmosferos oro atomų branduoliais, sukuria antrinių dalelių (μ ir κ mezonų,

miuonų, neutronų, protonų, elektronų bei fotonų) srautus. Detektoriuje šios dalelės sukuria foninius srovės impulsus. Be to, kosminės dalelės šarve indukuoja greituosius neutronus. Šių neutronų neelastinės sklaidos metu išspinduliuojami gama kvantai taip pat didina spinduliuotę (B2 lent.).

B2 lentelė. Gama linijos, sąlygotos neutronų neelastinės sklaidos

Gama kvantų energija E_γ , keV	Reakcija
68,2	$^{73}\text{Ge}(n, n^I)^{73}\text{Ge}$
562,9	$^{76}\text{Ge}(n, n^I)^{76}\text{Ge}$
569,7	$^{207}\text{Pb}(n, n^I)^{207}\text{Pb}$
669,6	$^{63}\text{Cu}(n, n^I)^{63}\text{Cu}$
691,3	$^{72}\text{Ge}(n, n^I)^{72}\text{Ge}$
803,1	$^{206}\text{Pb}(n, n^I)^{206}\text{Pb}$
846,8	$^{56}\text{Fe}(n, n^I)^{56}\text{Fe}$
962,1	$^{63}\text{Cu}(n, n^I)^{63}\text{Cu}$
1 115,5	$^{65}\text{Cu}(n, n^I)^{65}\text{Cu}$
2 624,6	$^{208}\text{Pb}(n, n^I)^{208}\text{Pb}$

Lėtieji (šiluminiai) neutronai sukelia branduolines reakcijas, kurių radioaktyvūs produktai sąlygoja kai kurių gama linijų atsiradimą foniniame spektre (B3 lent.).

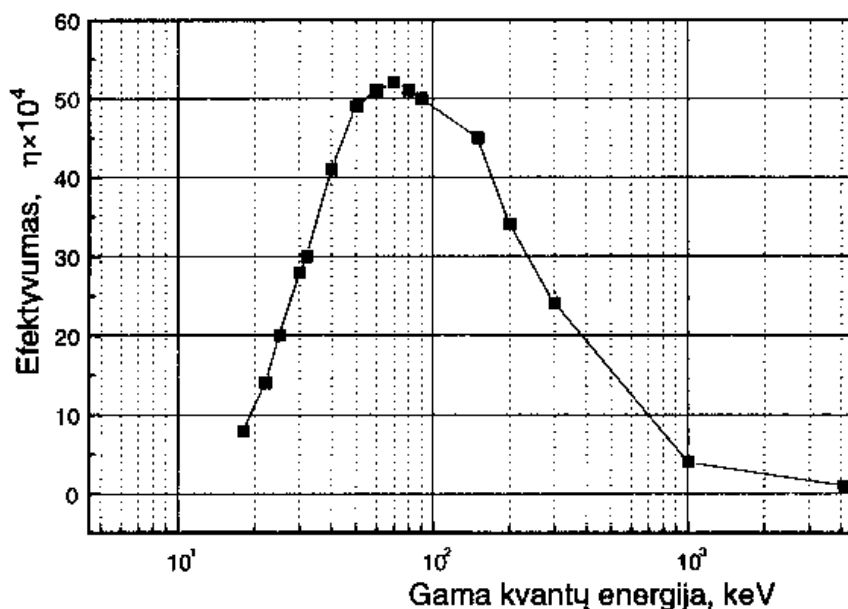
B3 lentelė. Gama linijos, sąlygotos šiluminių neutronų sukurtų trumpaamžių radionuklidų

Gama kvantų energija E_γ , keV	Reakcija	Pastabos
23,4	$^{70}\text{Ge}(n, \gamma)^{71}\text{Ge}$	13,3+53,4 keV kvantų suminė smailė
53,4	$^{72}\text{Ge}(n, \gamma)^{73\text{m}}\text{Ge}$	
66,7	$^{72}\text{Ge}(n, \gamma)^{73\text{m}}\text{Ge}$	
139,7	$^{74}\text{Ge}(n, \gamma)^{74\text{m}}\text{Ge}$	
159,5	$^{76}\text{Ge}(n, \gamma)^{77\text{m}}\text{Ge}$	
174,9	$^{70}\text{Ge}(n, \gamma)^{71\text{m}}\text{Ge}$	23,4+174,9 keV kvantų suminė smailė
198,9	$^{70}\text{Ge}(n, \gamma)^{71\text{m}}\text{Ge}$	
278,3	$^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$	
558,3	$^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$	
651,0	$^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$	
805,7	$^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$	

Kosminė spinduliuotė detektoriaus šarve sukuria antrinių dalelių (p , e^- , e^+) liūtį. Šios dalelės sukelia stabdomąją anihiliacinę spinduliuotę, energija $E_\gamma=511$ keV. Ši anihiliacinių gama kvantų linija aptinkama kiekviename foniniame spektre.

GAMA KVANTŲ REGISTRAVIMO EFEKTYVUMAS

Detektoriaus efektyvumas priklauso nuo gama kvantų energijos. Turint pakankamai duomenų, galima įvertinti sistemos efektyvumo priklausomybę nuo energijos (1 pav.).



C1 pav. Būdinga detektoriaus efektyvumo priklausomybės nuo energijos kreivė

Dažnai efektyvumo priklausomybė nuo energijos išreiškiama formule:

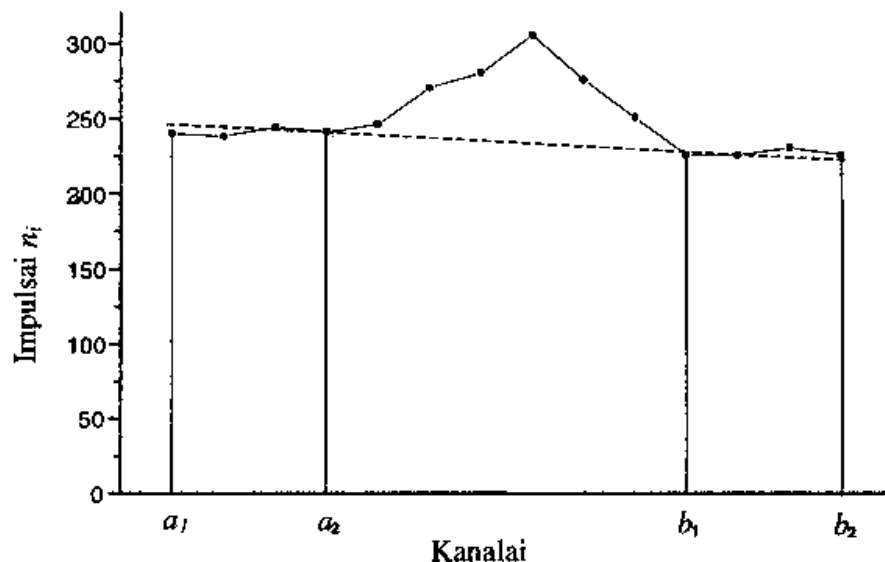
$$\ln \eta = A_1 + A_2 \ln E_\gamma;$$

čia: η – detektoriaus efektyvumas, E_γ – atitinkamos g linijos energija, keV, A_1 ir A_2 – parametrai, būdingi konkrečiai spektrometrinei sistemai. Energijų, mažesnių už 200 keV, taikoma sudėtingesnė polinominė η ir E_γ priklausomybė.

Kartais taikomas taškinis kalibravimas. Pavyzdžiui, norint išmatuoti ^{137}Cs aktyvumą, pakanka turėti atestuotą ^{137}Cs šaltinį. Šiais atvejais efektyvumo priklausomybė nuo energijos nenustatoma.

SPEKTRŲ ANALIZĖ

Spektrų analizę ir smailių „plotų“ skaičiavimus galima atlikti nesinaudojant spektrų apdorojimo programine įranga. 2 pav. pavaizduota būdinga mažo aktyvumo mėginio gama fotonų sugerties smailė.



D2 pav. Tipiška mažai aktyvaus mėginio gama smailė

Visam smailėje užregistruotų impulsų skaičiui įvertinti taikoma formulė:

$$N = \sum_{i=a_2}^{b_1} n_i;$$

čia:

n_i – impulsų skaičius i -tajame spektro kanale.

Foninių impulsų skaičius N_f įvertinamas taip:

$$N_f = \left(\sum_{i=a_2}^{a_2-1} n_i + \sum_{i=b_2+1}^{b_2} n_i \right) \frac{(b_1 - a_2 + 1)}{(a_2 - a_1 + b_2 - b_1)}.$$

Spektro sritys nuo a_1 iki a_2 ir nuo b_1 iki b_2 apibūdina foninį lygį po smaile.

RADIONUKLIDŲ BIBLIOTEKA

E1 lentelė. Gama spinduliai, jų pusėjimo trukmės, gama kvantų energijos E_γ ir kvantų emisijos tikimybės (kvantų išeigos) p_γ [1]

Nuklidas	Pusėjimo trukmė	E_γ , keV	p_γ
^7Be	53,17 d.	477,61	0,1032
^{22}Na	950,4 d.	511,00	1,807
		1 274,542	0,9994
^{24}Na	0,62323 d.	1 368,63	0,99994
		2 754,030	0,99876
^{40}K	1,277 10^9 m.	1 460,81	0,1067
^{41}Ar	1,827 h	1 293,64	0,9916
^{46}Sc	83,80 d.	889,280	0,99984
		1 120,55	0,99987
^{51}Cr	27,71 d.	320,08	0,0985
^{54}Mn	312,5 d.	834,84	0,99975
^{56}Mn	0,10744 d.	846,75	0,989
		1 810,72	0,272
		2 113,05	0,143
^{56}Co	77,3 d.	846,75	0,9993
		977,42	0,0144
		1 037,820	0,1411
		1 175,09	0,0227
		1 238,26	0,6670
		1 360,21	0,0427
		1 771,40	0,1550
		2 015,35	0,0302
		2 034,91	0,0788
		2 598,55	0,1720
		3 202,24	0,0324
		3 253,52	0,0798
		3 273,20	0,0189
		3 451,42	0,00954
^{57}Co	271,84 d.	122,06	0,8559
		136,47	0,1058
^{58}Co	70,78 d.	511,00	0,300
		810,78	0,9945
^{59}Fe	44,53 d.	142,54	0,0100
		192,35	0,0270
		1 099,25	0,561
		1 291,57	0,436
^{60}Co	1925,5 d.	1 173,24	0,9990
		1 332,50	0,999824
^{65}Zn	243,9 d.	511,00	0,0286
		1 115,55	0,504
^{75}Se	119,76 d.	121,12	0,173
		136,00	0,590

		198,60	0,0147
		264,65	0,591
		279,53	0,252
		303,910	0,0134
		400,65	0,1156
⁸⁵ Kr	3,909 10 ³ d.	514,01	0,00434
^{85m} Kr	4,48 h	151,18	0,753
		304,87	0,141
⁸⁵ Sr	64,85 d.	514,01	0,984
⁸⁷ Kr	1,272 h	402,58	0,495
		673,87	0,0191
		845,43	0,073
		1 175,40	0,0112
		1 740,52	0,0205
		2 011,88	0,0290
		2 554,8	0,093
		2 558,1	0,039
⁸⁸ Kr	2,84 h	165,98	0,0310
		196,32	0,260
		362,23	0,0225
		834,83	0,130
		1 518,39	0,0215
		1 529,77	0,109
		2 029,84	0,0453
		2 035,41	0,0374
		2 195,84	0,132
		2 231,77	0,034
⁸⁸ Y	106,66 d.	2 392,11	0,3460
		898,04	0,946
⁸⁹ Kr	3,16 min.	1 836,06	0,9924
		220,90	0,200
		497,5	0,066
		576,96	0,056
		585,80	0,166
		738,39	0,042
		867,08	0,059
		904,27	0,072
		1 324,28	0,0306
		1 472,76	0,069
		1 530,04	0,033
		1 533,68	0,051
		1 693,7	0,044
		2 012,23	0,0156
		2 866,23	0,0174
		3 532,9	0,0134
		3 923,0	0,0041
⁸⁹ Sr	50,5 d.	909,2	0,000098
⁹⁵ Zr	64,09 d.	724,20	0,440
		756,73	0,543
⁹⁵ Nb	35,0 d.	765,80	0,9980
⁹⁹ Mo	2,7476 d.	140,47	0,0495
		181,06	0,0603

		366,42	0,0122
		739,50	0,1231
		777,92	0,0433
^{99m}Tc	0,25025 d.	140,47	0,8897
^{103}Ru	39,272 d.	497,08	0,909
		610,33	0,0565
^{106}Ru	372,6 d.	511,85	0,2047
		616,17	0,00735
		621,84	0,0995
		1 050,47	0,01452
^{108m}Ag	127 m.	433,93	0,905
		614,37	0,898
		722,95	0,908
^{110m}Ag	249,79 d.	657,75	0,9465
		677,61	0,1068
		706,670	0,166
		763,93	0,224
		884,67	0,734
		937,48	0,346
		1 384,27	0,247
		1475,76	0,0397
		1505,00	0,1316
^{109}Cd	463 d.	88,03	0,0365
^{111}In	2,8049 d.	171,28	0,9093
		245,39	0,9417
^{113}Sn	115,1 d.	255,12	0,0193
		391,69	0,649
^{123m}Te	119,7 d.	158,96	0,840
^{124}Sb	60,20 d.	602,72	0,9783
		645,82	0,0744
		722,78	0,1078
		1 691,02	0,4752
		2 091,0	0,0547
^{125}Sb	1008,1 d.	176,33	0,0679
		380,44	0,01520
		427,89	0,294
		463,38	0,1045
		600,56	0,1778
		606,64	0,0502
		635,90	0,1132
		671,41	0,0180
^{125}I	59,3 d.	35,49	0,0667
^{131}I	8,021 d.	364,48	0,816
		636,97	0,0712
		722,89	0,0178
^{131m}Xe	11, 84 d.	163,93	0,0196
^{133}Xe	5,245 d.	79,62	0,0026
		81,00	0,377
^{133m}Xe	2,19 d.	233,18	0,103
^{133}Ba	3842 d.	53,16	0,0220
		79,62	0,0261
		81,00	0,340

		276,39	0,0710
		302,85	0,1833
		356,01	0,623
		383,85	0,0892
^{134}Cs	754,2 d.	475,35	0,0151
		563,23	0,0834
		569,32	0,1538
		604,70	0,976
		795,85	0,854
		801,93	0,0864
		1 038,57	0,00998
		1 167,94	0,0180
		1 365,15	0,0302
^{135}Xe	0,3796 d.	249,79	0,9013
		608,19	0,029
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	15,36 min.	526,57	0,812
^{137}Xe	3,83 min.	455,51	0,312
^{137}Cs	30,0 m.	661,66	0,850
^{138}Xe	14,13 min.	153,75	0,0595
		242,56	0,0350
		258,31	0,315
		396,43	0,063
			0,203
		1 768,26	0,167
		2 004,75	0,0535
		2 015,82	0,123
		2 252,26	0,0229
^{139}Ce	137,65 d.	165,85	0,800
^{140}Ba	12,751 d.	537,38	0,2439
^{140}La	1,6779 d.	328,77	0,2074
		487,03	0,4594
		815,83	0,2364
		1 596,49	0,9540
^{141}Ce	32,50 d.	145,44	0,489
^{144}Ce	284,45 d.	133,54	0,1109
		696,51	0,0134
		1 489,15	0,00279
		2 185,66	0,00700
^{147}Nd	10,98 d.	91,11	0,282
		531,03	0,123
^{152}Eu	4939 d.	121,78	0,2837
		244,69	0,0751
		344,27	0,2658
		411,11	0,02234
		443,91	0,0280
		778,89	0,1296
		963,38	0,1462
		1 085,78	0,1016
		1 112,02	0,1356
		1 407,95	0,2085
^{169}Yb	32,032 d.	109,78	0,175
		118,19	0,0186

$^{180\text{m}}\text{Hf}$	0,2300 d.	130,52	0,1128
		177,21	0,2244
		197,95	0,360
		261,07	0,0168
		307,73	0,1010
		215,25	0,817
		332,31	0,945
		443,18	0,831
		500,71	0,139
		84,68	0,0263
^{182}Ta	114,43 d.	100,11	0,1423
		113,67	0,0187
		116,41	0,00445
		152,43	0,0695
		156,38	0,0263
^{182}Ta	114,43 d.	179,39	0,0309
		198,35	0,0144
		222,10	0,0750
		229,32	0,0364
		264,07	0,0362
		1 121,28	0,3530
		1 189,04	0,1644
		1 221,42	0,2717
		1230,87	0,1158
		295,96	0,286
^{192}Ir	73,831 d.	308,46	0,298
		316,51	0,828
		468,07	0,477
		588,59	0,0451
		604,41	0,0819
		612,47	0,0531
		411,80	0,9547
		279,20	0,813
		569,70	0,9770
		1 063,66	0,7408
^{198}Au	2,696 d.	1 770,24	0,0687
		46,50	0,0418
^{203}Hg	46,612 d.	186,21	0,0351
^{207}Bi	32,2 m.	241,98	0,0712
		295,21	0,1815
^{210}Pb	22,3 m.	351,92	0,351
		609,31	0,446
		768,36	0,0476
		934,06	0,0307
		1 120,29	0,147
		1 238,11	0,0578
		1 509,23	0,0208
		1 764,49	0,151
		2 118,55	0,0117
		2 204,22	0,0498
^{226}Ra	1600 m.	2 293,36	0,00301
		2 447,86	0,0155

²³² Th	1,405 10 ¹⁰ m.	59,0	0,0019
		105,0	0,016
		129,08	0,0223
		146,1	0,0021
		154,2	0,0090
		209,28	0,0381
		238,63	0,435
		240,98	0,0404
		270,23	0,0344
		278,0	0,0233
		300,09	0,0327
		321,7	0,00245
		328,0	0,0310
		338,32	0,1126
		409,51	0,0195
		463,00	0,0450
		562,3	0,0089
		570,7	0,00213
		583,0	0,307
		727,0	0,0735
		755,18	0,0104
		763,13	0,0073
		772,17	0,0145
		785,46	0,0107
		794,70	0,0434
		835,5	0,0153
		860,37	0,0455
		911,07	0,266
		964,6	0,052
		969,11	0,1623
		1 459,30	0,0078
		1 588,00	0,0326
		2614,66	0,356
²⁴¹ Am	432,0 m.	59,54	0,360

E2 lentelė. Radionuklidai, išrikiuoti gama kvantų energijų didėjimo tvarka ir gama kvantų emisijos tikimybės p_γ [1]

Energija, keV	Radionuklidas	p_γ
13,60	²³⁹ Pu	0,044
13,85	¹⁴⁰ Ba	0,012
14,41	⁵⁷ Co	0,0954
22,16	¹⁰⁹ Cd	0,86
24,94	¹⁰⁹ Cd	0,17
26,35	²⁴¹ Am	0,024
27,40	¹²⁵ Sb	0,6192
29,97	¹⁴⁰ Ba	0,1073
31,00	¹²⁵ Sb	0,1289
31,82	¹³⁷ Cs	0,0196
32,19	¹³⁷ Cs	0,0361

35,50	¹²⁵ Sb	0,0428
36,40	¹³⁷ Cs	0,0131
42,80	¹⁵⁴ Eu	0,2847
46,52	²¹⁰ Pb	0,0405
49,41	²³⁹ Np	0,001
51,62	²³⁹ Pu	0,0027
59,54	²⁴¹ Am	0,359
59,54	²³⁷ U	0,3348
60,01	¹⁵⁵ Eu	0,0114
63,29	²³⁴ Th	0,0383
67,75	¹⁸² Ta	0,423
67,88	²³⁹ Np	0,009
72,00	¹⁸⁷ W	0,1077
79,62	¹³³ Xe	0,006
80,11	¹⁴⁴ Ce	0,016
80,18	¹³¹ I	0,0262
81,00	¹³³ Ba	0,3292
81,00	¹³³ Xe	0,37
86,50	²³⁷ Np	0,126
86,54	¹⁵⁵ Eu	0,308
86,79	¹⁶⁰ Tb	0,132
88,03	¹⁰⁹ Cd	0,0361
91,10	¹⁴⁷ Nd	0,279
92,38	²³⁴ Th	0,0273
92,80	²³⁴ Th	0,0269
94,67	²³⁹ Pu	0,0037
97,43	¹⁵³ Sm	0,0073
97,43	¹⁵³ Gd	0,276
98,44	²³⁹ Pu	0,0059
100,10	¹⁸² Ta	0,141
103,18	¹⁵³ Gd	0,196
103,18	¹⁵³ Sm	0,283
105,31	¹⁵⁵ Eu	0,205
106,12	²³⁹ Np	0,2286
112,95	¹⁷⁷ Lu	0,064
121,12	⁷⁵ Se	0,1732
121,78	¹⁵² Eu	0,2832
122,06	⁵⁷ Co	0,8559
123,14	¹⁵⁴ Eu	0,405
123,80	¹³¹ Ba	0,2905
129,30	²³⁹ Pu	0,0064
133,02	¹⁸¹ Hf	0,41
133,54	¹⁴⁴ Ce	0,108
134,25	¹⁸⁷ W	0,0856
136,00	⁷⁵ Se	0,5898
136,25	¹⁸¹ Hf	0,069
136,48	⁵⁷ Co	0,1061
140,51	^{99m} Tc	0,889
142,65	⁵⁹ Fe	0,0102
143,21	²³⁷ Np	0,0042
143,76	²³⁵ U	0,1093
145,44	¹⁴¹ Ce	0,4844

151,17	^{85m} Kr	0,7508
158,20	¹³⁵ Xe	0,0029
162,64	¹⁴⁰ Ba	0,0621
163,33	²³⁵ U	0,05
16,93	^{131m} Xe	0,0196
164,10	¹³⁹ Ba	0,2205
165,85	¹³⁹ Ce	0,7995
172,62	¹²⁵ Sb	0,0018
176,33	¹²⁵ Sb	0,0679
176,56	¹³⁶ Cs	0,1359
181,06	⁹⁹ Mo	0,0652
185,72	²³⁵ U	0,575
186,21	²²⁶ Ra	0,0328
192,35	⁵⁹ Fe	0,0308
196,32	⁸⁸ Kr	0,263
205,31	²³⁵ U	0,0503
208,01	²³⁷ U	0,2167
208,36	¹⁷⁷ Lu	0,11
209,75	²³⁹ Np	0,327
216,09	¹³¹ Ba	0,199
220,90	⁸⁹ Kr	0,204
228,16	¹³² Te	0,882
228,18	²³⁹ Np	0,1079
233,18	^{133m} Xe	0,103
234,68	⁹⁵ Zr	0,002
236,00	²²⁷ Th	0,1105
238,63	²¹² Pb	0,446
240,98	²²⁴ Ra	0,0395
241,98	²¹⁴ Pb	0,09
244,70	¹⁵² Eu	0,0751
248,04	¹⁵⁴ Eu	0,0659
249,44	¹³¹ Ba	0,028
249,79	¹³⁵ Xe	0,899
252,45	¹⁵⁴ Eu	0,001
255,06	¹¹³ Sn	0,0182
256,25	²²⁷ Th	0,0671
258,41	¹³⁸ Xe	0,315
258,79	²¹⁴ Pb	0,0055
264,66	⁷⁵ Se	0,59
273,70	²¹⁴ Bi	0,0018
274,53	²¹⁴ Pb	0,0033
276,40	¹³³ Ba	0,0732
277,60	²³⁹ Np	0,142
279,19	²⁰³ Hg	0,8155
279,54	⁷⁵ Se	0,2518
282,52	¹⁷⁵ Yb	0,031
284,29	¹³¹ I	0,0606
293,26	¹⁴³ Ce	0,42
295,21	²¹⁴ Pb	0,197
295,94	¹⁵² Eu	0,0045
298,57	¹⁶⁰ Th	0,269
300,09	²¹² Pb	0,0341

302,85	¹³³ Ba	0,1871
304,84	¹⁴⁰ Ba	0,043
304,86	^{85m} Kr	0,137
312,40	⁴² K	0,18
314,20	²¹⁴ Pb	0,0079
319,41	¹⁴⁷ Nd	0,0195
320,08	⁵¹ Cr	0,0983
328,77	¹⁴⁰ La	0,205
329,43	¹⁵² Eu	0,0015
333,03	¹⁹⁶ Au	0,2285
334,31	²³⁹ Np	0,0204
338,40	²²⁸ Ac	0,114
340,57	¹³⁶ Cs	0,4855
344,28	¹⁵² Eu	0,2267
345,95	¹⁸¹ Hf	0,12
351,92	²¹⁴ Pb	0,389
355,73	¹⁹⁶ Au	0,869
356,01	¹³³ Ba	0,6258
358,39	¹³⁵ Xe	0,0022
361,85	¹³⁵ I	0,0019
362,23	⁸⁸ Kr	0,0228
363,50	⁸⁸ Kr	0,0049
363,93	¹³⁸ Cs	0,0024
364,48	¹³¹ I	0,8124
365,29	¹³⁸ Cs	0,0019
367,79	¹⁵² Eu	0,0087
373,25	¹³¹ Ba	0,133
375,05	²³⁹ Pu	0,0016
380,44	¹²⁵ Sb	0,0152
383,85	¹³³ Ba	0,0889
387,00	²¹⁴ Bi	0,0037
389,10	²¹⁴ Bi	0,0041
391,69	¹¹³ Sn	0,6416
396,32	¹⁷⁵ Yb	0,065
400,66	⁷⁵ Se	0,1156
402,58	⁸⁷ Kr	0,496
405,74	²¹⁴ Bi	0,0017
407,99	¹³⁵ Xe	0,0036
411,12	¹⁵² Eu	0,0227
411,80	¹⁹⁸ Au	0,9551
413,71	²³⁹ Pu	0,0015
414,70	¹²⁶ Sb	0,833
416,05	¹⁵² Eu	0,0011
426,50	²¹⁴ Bi	0,0011
427,89	¹²⁵ Sb	0,2944
433,95	^{108m} Ag	0,907
434,56	¹³⁸ Xe	0,203
439,90	¹⁴⁷ Nd	0,012
443,98	¹⁵² Eu	0,0312
454,77	²¹⁴ Bi	0,0032
462,10	²¹⁴ Pb	0,0017
462,79	¹³⁸ Cs	0,307

463,38	¹²⁵ Sb	0,1045
469,69	²¹⁴ Bi	0,0013
474,38	²¹⁴ Bi	0,0012
477,59	⁷ Be	0,0103
479,57	¹⁸⁷ W	0,2113
480,42	²¹⁴ Pb	0,0034
482,16	¹⁸¹ Hf	0,83
487,03	¹⁴⁰ La	0,455
487,08	²¹⁴ Pb	0,0044
488,66	¹⁵² Eu	0,0042
496,28	¹³¹ Ba	0,4378
497,08	¹⁰³ Ru	0,895
497,50	⁸⁹ Kr	0,068
503,39	¹⁵² Eu	0,0016
510,57	¹³³ I	0,0184
511,00	⁵⁶ Co	0,186
511,00	⁶⁴ Cu	0,371
511,00	²² Na	0,9
511,00	⁸⁸ Y	0,004
511,00	⁶⁵ Zn	0,0283
511,85	¹⁰⁶ Ru	0,206
513,99	⁸⁵ Kr	0,0043
513,99	⁸⁵ Sr	0,983
526,56	^{135m} Xe	0,8051
529,89	¹³³ I	0,873
531,02	¹⁴⁷ Nd	0,1309
533,69	²¹⁴ Pb	0,0019
537,32	¹⁴⁰ Ba	0,2439
546,94	¹³⁸ Cs	0,1076
551,52	¹⁸⁷ W	0,0492
554,32	⁸² Br	0,706
555,61	^{91m} Y	0,949
557,04	¹⁰³ Ru	0,0083
559,10	⁷⁶ As	0,45
563,23	¹³⁴ Cs	0,0838
563,23	⁷⁶ As	0,012
564,00	¹²² Sb	0,712
564,02	¹⁵² Eu	0,0049
566,42	¹⁵² Eu	0,0013
569,32	¹³⁴ Cs	0,1543
569,67	²⁰⁷ Bi	0,978
580,15	²¹⁴ Pb	0,0037
583,19	²⁰⁸ Tl	0,8577
585,80	⁸⁹ Kr	0,169
586,29	¹⁵² Eu	0,0046
591,74	¹⁵⁴ Eu	0,0484
595,36	¹³⁴ I	0,1116
600,56	¹²⁵ Sb	0,1778
602,73	¹²⁴ Sb	0,978
604,70	¹³⁴ Cs	0,9756
606,64	¹²⁵ Sb	0,0502
608,19	¹³⁵ Xe	0,0287

609,31	²¹⁴ Bi	0,433
610,33	¹⁰³ Ru	0,0564
616,20	¹⁰⁶ Ru	0,007
618,28	¹⁸⁷ W	0,0607
619,07	⁸² Br	0,0431
621,79	¹³⁴ I	0,1059
621,84	¹⁰⁶ Ru	0,0981
635,90	¹²⁵ Sb	0,1132
636,97	¹³¹ I	0,0727
645,86	¹²⁴ Sb	0,0738
652,30	⁹¹ Sr	0,0297
652,90	⁹¹ Sr	0,0802
653,00	⁹¹ Sr	0,0037
656,48	¹⁵² Eu	0,0015
657,05	⁷⁶ As	0,0617
657,71	⁸⁹ Rb	0,101
657,76	^{110m} Ag	0,9464
661,66	¹³⁷ Cs	0,8521
665,45	²¹⁴ Bi	0,0125
666,31	¹²⁶ Sb	0,996
667,69	¹³² I	0,987
671,15	¹⁵² Eu	0,0023
675,89	¹⁹⁸ Au	0,008
685,74	¹⁸⁷ W	0,2639
685,90	¹⁴⁷ Nd	0,0081
692,60	¹²² Sb	0,039
695,00	¹²⁶ Sb	0,996
696,49	¹⁴⁴ Ce	0,0148
697,00	¹²⁶ Sb	0,29
697,49	¹⁴⁴ Pr	0,0148
698,33	⁸² Br	0,279
702,63	⁹⁴ Nb	1
703,11	²¹⁴ Bi	0,0047
715,76	¹⁵⁴ Eu	0,0018
719,86	²¹⁴ Bi	0,0041
720,50	¹²⁶ Sb	0,538
722,79	¹²⁴ Sb	0,1076
722,89	¹³¹ I	0,018
722,95	^{108m} Ag	0,915
723,30	¹⁵⁴ Eu	0,197
724,20	⁹⁵ Zr	0,441
727,17	²¹² Bi	0,0756
739,50	⁹⁹ Mo	0,13
749,80	⁹¹ Sr	0,236
752,84	²¹⁴ Bi	0,0013
756,73	⁹⁵ Zr	0,545
763,94	^{110m} Ag	0,222
765,79	⁹⁵ Nb	0,9979
768,36	²¹⁴ Bi	0,0504
772,60	¹³² I	0,762
772,91	¹⁸⁷ W	0,0398
773,67	^{131m} Te	0,3806

776,49	⁸² Br	0,834
777,88	⁹⁹ Mo	0,0462
778,91	¹⁵² Eu	0,1296
785,46	²¹² Bi	0,0126
785,91	²¹⁴ Pb	0,011
786,10	²¹⁴ Bi	0,0032
793,75	^{131m} Te	0,1382
795,85	¹³⁴ Cs	0,8544
801,93	¹³⁴ Cs	0,0873
810,77	⁵⁸ Co	0,9945
815,80	¹⁴⁰ La	0,235
818,50	¹³⁶ Cs	0,997
834,83	⁵⁴ Mn	0,9998
834,83	⁸⁸ Kr	0,131
839,03	²¹⁴ Pb	0,0059
845,44	⁸⁷ Kr	0,0734
846,70	⁵⁶ Co	0,9993
846,75	⁵⁶ Mn	0,9887
847,02	¹³⁴ I	0,9541
852,21	^{131m} Te	0,2057
856,70	¹²⁶ Sb	0,176
860,56	²⁰⁸ Tl	0,12
863,96	⁵⁸ Co	0,0068
871,10	⁹⁴ Nb	1
873,19	¹⁵⁴ Eu	0,115
875,37	¹³³ I	0,044
879,36	¹⁶⁰ Tb	0,295
884,09	¹³⁴ I	0,6488
884,69	^{110m} Ag	0,7268
889,26	⁴⁶ Sc	0,9998
898,02	⁸⁸ Y	0,095
904,27	⁸⁹ Kr	0,073
911,07	²²⁸ Ac	0,277
925,24	¹⁴⁰ La	0,0709
937,49	^{110m} Ag	0,3436
954,55	¹³² I	0,181
964,13	¹⁵² Eu	0,1462
966,16	¹⁶⁰ Tb	0,25
969,11	²²⁸ Ac	0,166
989,03	¹²⁶ Sb	0,068
996,32	¹⁵⁴ Eu	0,103
1001,03	^{234m} Pa	0,0059
1004,76	¹⁵⁴ Eu	0,1789
1009,78	¹³⁸ Cs	0,298
1024,30	⁹¹ Sr	0,334
1031,88	⁸⁹ Rb	0,59
1037,80	⁵⁶ Co	0,1409
1043,97	⁸² Br	0,274
1048,07	¹³⁶ Cs	0,7972
1050,47	¹⁰⁶ Ru	0,0173
1063,62	²⁰⁷ Bi	0,7491
1072,55	¹³⁴ I	0,1498

1076,70	⁸⁶ Rb	0,0878
1087,66	¹⁹⁸ Au	0,0016
1099,25	⁵⁹ Fe	0,565
1112,12	¹⁵² Eu	0,1356
1115,52	⁶⁵ Zn	0,5074
1120,29	²¹⁴ Bi	0,157
1120,52	⁴⁶ Sc	0,999
1121,28	¹⁸² Ta	0,35
1128,00	¹⁰⁶ Ru	0,004
1131,51	¹³⁵ I	0,225
1140,20	¹²² Sb	0,0057
1167,94	¹³⁴ Cs	0,0181
1173,24	⁶⁰ Co	0,999
1177,94	¹⁶⁰ Tb	0,152
1189,05	¹⁸² Ta	0,163
1212,92	⁷⁶ As	0,0144
1216,08	⁷⁶ As	0,0342
1221,42	¹⁸² Ta	0,271
1228,52	⁷⁶ As	0,0122
1230,90	¹⁸² Ta	0,115
1235,34	¹³⁶ Cs	0,1978
1236,56	¹³³ I	0,0144
1238,11	²¹⁴ Bi	0,0594
1238,30	⁵⁶ Co	0,6695
1248,10	⁸⁹ Rb	0,43
1257,00	¹²² Sb	0,0077
1260,41	¹³⁵ I	0,286
1274,45	¹⁵⁴ Eu	0,355
1274,51	²² Na	0,9995
1291,60	⁵⁹ Fe	0,432
1293,64	⁴¹ Ar	0,9916
1298,33	¹³³ I	0,0227
1317,47	⁸² Br	0,269
1318,00	⁵⁹ Fe	Linijų pora
1332,50	⁶⁰ Co	0,9998
1345,77	⁶⁴ Cu	0,0048
1368,53	²⁴ Na	0,9999
1377,82	²¹⁴ Bi	0,4506
1384,30	^{110m} Ag	0,2428
1408,01	¹⁵² Eu	0,2085
1420,50	¹³⁹ Ba	0,003
1435,86	¹³⁸ Cs	0,763
1457,56	¹³⁵ I	0,086
1460,75	⁴⁰ K	0,107
1472,76	⁸⁹ Kr	0,07
1489,15	¹⁴⁴ Ce	0,003
1524,00	⁴² K	0,179
1529,77	⁸⁸ Kr	0,111
1573,73	⁹⁴ Nb	0,0015
1596,48	¹⁵⁴ Eu	0,0167
1596,49	¹⁴⁰ La	0,9549
1642,40	³⁸ Cl	0,328

1674,73	⁵⁸ Co	0,0052
1678,03	¹³⁵ I	0,095
1690,98	¹²⁴ Sb	0,473
1740,52	⁸⁷ Kr	0,0204
1764,49	²¹⁴ Bi	0,17
1768,26	¹³⁸ Xe	0,167
1770,23	²⁰⁷ Bi	0,0685
1771,40	⁵⁶ Co	0,1551
1791,20	¹³⁵ I	0,077
1810,72	⁵⁶ Mn	0,2719
1836,01	⁸⁸ Y	0,9935
2004,75	¹³⁸ Xe	0,123
2015,82	¹³⁸ Xe	0,0535
2090,94	¹²⁴ Sb	0,0558
2113,05	⁵⁶ Mn	0,1434
2167,50	³⁸ Cl	0,44
2185,70	¹⁴⁴ Ce	0,0077
2195,84	⁸⁸ Kr	0,133
2196,00	⁸⁹ Rb	0,136
2204,22	²¹⁴ Bi	0,0498
2218,00	¹³⁸ Cs	0,152
2323,10	¹²⁴ Sb	0,0024
2392,11	⁸⁸ Kr	0,35
2554,80	⁸⁷ Kr	0,0923
2558,10	⁸⁷ Kr	0,0392
2570,14	⁸⁹ Rb	0,1
2598,50	⁵⁶ Co	0,1674
2614,53	²⁰⁸ Tl	0,9979
2753,90	²⁴ Na	0,9984

E3 lentelė. Gama spinduliai, kurių gama smailės spektruose gali persikloti jų pusėjimo trukmės, gama kvantų energijos E_γ ir kvantų išėigos p_γ [1]

Nuklid as	E_γ , [keV]	p_γ	Pusėjimo o trukmė [d.]	Trukdant ys nuklidai	E_γ , [keV]	p_γ	Pusėjimo trukmė [d.] arba motininis nuklidas
⁵¹ Cr	320,084	0,0985	27,71	²³⁹ Np	315,88	0,013	2,35
				¹⁰⁵ Rh	319,24	0,196	1,50
				¹⁴⁷ Nd	319,4	0,022	11,06
				²²³ Ra	324,1	0,040	²³⁵ U
				²¹⁹ Rn	324,1	0,040	²³⁵ U
⁵⁴ Mn	834,843	0,99975	312,5	²¹¹ Bi	831,8	0,033	²³⁵ U
				²³⁴ Pa	831,8	0,057	²³⁸ U
				²¹¹ Pb	831,8	0,030	²³⁵ U
				²²⁸ Ac	835,6	0,015	²³² Th
⁵⁷ Co	122,0614	0,8559	271,84	²³⁹ Np	117,7	0,063	2,35

				²³⁹ Np	120,7	0,023	2,35
				²²³ Ra	122,4	0,011	²³⁵ U
				²¹⁹ Rn	122,4	0,011	²³⁵ U
⁵⁸ Co	810,775	0,9945	70,78	²³⁴ Pa	806,2	0,033	²³⁸ U
⁵⁹ Fe	1 099,251	0,561	44,53				
	1 291,569	0,436	44,53	^{115m} Cd	1 290,59	0,0089	44,5
				¹⁴¹ Nd	1 292,64	0,0046	2,49
⁶⁰ Co	1 173,238	0,999	1 925,5				
	1 332,502	0,999824	1 925,5	⁵² Mn	1 333,62	0,051	5,591
⁶⁵ Zn	1 115,546	0,504	243,9	²¹⁴ Bi	1 120,4	0,136	²³⁸ U
				⁴⁶ Sc	1 120, 545	1,000	83,80
⁹⁵ Zr	724,199	0,440	64,09	¹²⁶ Sb	720,4	0,560	12,5
				¹⁴³ Ce	722,0	0,045	1,40
				¹²⁴ Sb	722,78	0,1126	60,2
				¹²⁷ Sb	723,0	0,018	3,85
				²¹² Bi	727,17	0,065	²³² Th
	756,729	0,543	64,09	¹⁴⁰ La	751,79	0,0441	1,68
⁹⁵ Nb	765,8	0,998	35,0	^{110m} Ag	763,928	0,224	249,79
				²¹⁴ Bi	768,7	0,042	²³⁸ U
⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	140,466	0,8896	(2,7476)	⁵⁷ Co	136,4743	0,1058	271,84
				²³⁵ U	143,78	0,097	2,57×10 ¹¹
				²¹⁹ Rn	144,3	0,032	²³⁵ U
				²²³ Ra	144,3	0,032	²³⁵ U
				¹⁴¹ Ce	145,4442	0,489	32,5
	181,057	0,0603	2,7476	¹²⁵ Sb	176,334	0,0689	1008,1
				¹³⁶ Cs	176,75	0,132	13,7
				²³⁵ U	185,72	0,54	2,57×10 ¹¹
				²³⁴ Pa	186,0	0,019	²³⁸ U
				²²⁶ Ra	186,211	0,0351	584 400
	366,421	0,0122	2,7476	¹³¹ I	364,48	0,816	8,021
				²³⁴ Pa	369,8	0,034	²³⁸ U
	739,5	0,1231	2,7476	²³⁴ Pa	742,8	0,029	²³⁸ U
				^{110m} Ag	744,26	0,0464	249,79
	777,921	0,0433	2,7476	^{131m} Te	773,7	0,46	1,25
				^{131m} Te	782,7	0,067	1,25
¹⁰³ Ru	497,080	0,909	39,272	¹¹⁵ Cd	492,29	0,081	2,23
¹⁰⁶ Ru/ ¹⁰⁶ Rh	621,84	0,0995	(372,6)	^{110m} Ag	620,35	0,0277	249,79
	1 050,47	0,01452	(367)	¹³⁶ Cs	1 048,1	0,7972	13,16
^{110m} Ag	657,749	0,94652	49,79	¹²⁶ Sb	656,2	0,028	12,5
				¹³⁷ Cs	661,66	0,850	10958
	884,667	0,734	249,79	²³⁴ Pa	880,8	0,130	²³⁸ U
				²³⁴ Pa	883,2	0,120	²³⁸ U

	1 384,27	0,247	249,79	⁴⁶ Sc	889,277	1,000	83,8
-124Sb	602,72	0,9792	60,2	¹²⁵ Sb	600,557	0,178	1 008,1
				¹²⁷ Sb	603,6	0,042	3,85
				¹⁹² Ir	604,414	0,0819	73,831
				¹³⁴ Cs	604,699	0,976	754,2
				¹²⁶ Sb	605,0	0,024	12,5
				¹²⁵ Sb	606,641	0,0502	1 008,1
	1 691,02	0,488	60,2				
¹²⁵ Sb	176,334	0,0689	1 008,1	¹³⁶ Cs	176,75	0,132	13,7
				⁹⁹ Mo	181,057	0,0603	2,7476
	427,889	0,2933	1 008,1	¹⁴⁰ Ba	423,69	0,0315	12,751
				²¹¹ Bi	426,9	0,019	²³⁵ U
				²¹¹ Pb	427,1	0,019	²³⁵ U
				¹⁴⁰ La	432,55	0,0299	1,6779
	600,57	0,178	1 008,1	¹²⁴ Sb	602,72	0,9792	60,2
				¹²⁷ Sb	603,6	0,042	3,85
				¹⁹² Ir	604,414	0,0819	75,1
				¹³⁴ Cs	604,699	0,976	754,2
				¹²⁶ Sb	605,0	0,024	12,4
	635,895	0,1132	1 008,1	¹³¹ I	636,973	0,0712	8,021
¹³¹ I	364,48	0,816	8,021	²¹⁰ Tl	360,0	0,040	²³⁸ U
				⁹⁹ Mo	366,421	0,0122	2,7476
				²³⁴ Pa	369,8	0,034	²³⁸ U
¹³⁴ Cs	604,699	0,976	754,2	¹²⁵ Sb	600,557	0,178	1 008,1
				¹²⁴ Sb	602,72	0,9792	60,2
				¹²⁷ Sb	603,6	0,042	3,85
				¹⁹² Ir	604,414	0,0819	73,831
				¹²⁶ Sb	605,0	0,024	12,5
				¹²⁵ Sb	606,641	0,0502	1 008,1
				²¹⁴ Bi	609,3	0,412	²³⁸ U
				^{131m} Te	793,6	0,159	1,25
	795,845	0,854	754,2	²¹⁰ Tl	795,0	1,000	²³⁸ U
				²²⁸ Ac	795,0	0,039	²³² Th
				²³⁴ Pa	796,6	0,039	²³⁸ U
				¹²⁵ Sn	800,5	0,010	9,62
¹³⁷ Cs	661,66	0,850	10958	^{100m} Ag	657,7	0,9465	249,79
				¹⁴³ Ce	664,0	0,050	1,40
				^{131m} Te	665,0	0,035	1,25
				²¹⁴ Bi	666,0	0,022	²³⁸ U
				¹²⁶ Sb	666,2	1,000	12,5
¹⁴⁰ Ba/ ¹⁴⁰ La	162,9	0,0621	12,751	^{123m} Te	158,96	0,840	119,7
				²³⁵ U	163,36	0,045	2,57×10 ¹¹
				¹³⁶ Cs	164,04	0,045	13,7
	328,77	0,2074	(12,751)	²²³ Ra	324,1	0,04	²³⁵ U
				²¹⁹ Rn	324,1	0,04	²³⁵ U

				²²⁸ Ac	328,3	0,026	²³² Th
				²²⁷ Th	329,7	0,023	²³⁵ U
				²³¹ Pa	329,9	0,01	²³⁵ U
487,03	0,4594	(12,751)		¹⁹² Ir	484,6	0,032	73,831
537,38	0,2439	12,751					
815,83	0,2364	(12,751)		^{110m} Ag	818,02	0,073	249,79
				¹³⁶ Cs	818,48	1,000	13,7
				²³⁴ Pa	819,7	0,027	²³⁸ U
1 596,49	0,954	(12,751)					
¹⁴¹ Ce	145,4442	0,489	32,5	^{99m} Tc	140,5	0,889	2,7476
				²³⁵ U	143,78	0,097	2,57×10 ¹¹
				²¹⁹ Rn	144,3	0,032	²³⁵ U
				²²³ Ra	144,3	0,032	²³⁵ U
				^{131m} Te	149,7	0,242	1,25
¹⁴⁴ Ce	133,544	0,1109	284,45	²²⁸ Ac	129,1	0,021	²³² Th
				²³⁴ Pa	131,2	0,200	²³⁸ U
				⁵⁷ Co	136,5	0,106	271,84

Pastaba. Nurodyti radionuklidai, kurių gama kvantų energijos skiriasi ne daugiau nei 5 keV, pusėjimo trukmė ne mažesnė negu 1 diena ir kvantų emisijos tikimybė ne mažesnė nei 0,01.

E4 lentelė. Gama spinduliai, būdingi branduolinių reaktorių taršai [1]

Nuklidas	Pusėjimo trukmė [d.]	Energija E_γ [keV]	Tikimybė p_γ
⁵¹ Cr	27,706	320,08	0,0986
⁵⁴ Mn	312,3	834,84	0,999758
⁵⁷ Co	271,79	122,06	0,8560
		136,47	0,1068
⁵⁸ Co	70,86	810,78	0,9945
⁶⁰ Co	1 925,5	1 173,24	0,99857
		1 332,50	0,99983
⁵⁹ Fe	44,54	1 099,25	0,561
		1 251,57	0,436
⁶⁵ Zn	244,26	1 115,55	0,5060
⁹⁵ Zr	64,26	724,20	0,4417
		756,73	0,5446
⁹⁵ Nb	34,975	765,81	0,9981
⁹⁹ Mo	2,7476	140,47	0,905

		739,50	0,1231
^{99m} Tc	0,25028	140,47	0,8906
¹⁰³ Ru	39,272	497,08	0,909
¹⁰⁶ Ru/ ¹⁰⁶ Rh	372,6	621,84 1 050,47	0,0995 0,0147
^{110m} Ag	249,79	657,76 884,69 937,49	0,953 0,732 0,346
¹²⁴ Sb	60,20	602,73 722,78 1 690,98	0,9789 0,108 0,476
¹²⁵ Sb	1 007,7	427,88 463,38 600,60 635,95	0,297 0,1048 0,1773 0,1121
¹²⁷ Sb	3,85	473,61 685,7 784,0	0,247 0,353 0,145
¹³¹ I	8,0207	284,30 364,48	0,0620 0,816
¹³² I	0,0956	522,65 667,72	0,160 0,987
¹³³ I	0,867	529,87 875,33	0,87 0,451
¹²⁹ Te	0,04833	459,52	0,077
^{129m} Te	33,6	695,84	0,030
¹³² Te	3,204	228,16	0,88
¹³⁴ Cs	754,28	604,72 795,86	0,9763 0,854
¹³⁶ Cs	13,16	340,55 818,51 1 048,07	0,422 0,997 0,80
¹³⁷ Cs	1,102 E4	661,66	0,851
¹⁴⁰ Ba	12,751	537,31	0,2439

¹⁴⁰ La	1,6779	328,76 487,02 1 596,21	0,206 0,455 0,954
¹⁴¹ Ce	32,501	145,44	0,480
¹⁴⁴ Ce	284,893	133,52	0,1109

BIBLIOGRAFIJA

F.1. Pagrindinės monitoringo procedūros branduolinio ar radiologinio incidento metu IAEA-TECDOC-1092, IAEA, Viena, 1999, 93-109 p. (anglų ir rusų k.) = Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency, IAEA-TECDOC-1092, IAEA, Viena, 1999.

F.2. Gamtinės aplinkos kontrolės organizavimo AE rajone vadovas, red. K. P. Machonko, Leningrad, Hidrometeoizdat, 1990, 81- 113 p. (rusų k.) = Руководство по организации контроля природной среды в районе расположения АЭС. Под ред. К. П. Махонько, Ленинград, Гидрометеиздат, 1990.

F.3. Radioaktyvumas Baltijos jūroje 1984-1991, Baltijos jūros aplinkos darbai Nr. 61, Helsinkio komisija, 1995, 35 p. (anglų k.) = Radioactivity in the Baltic Sea 1984-1991, Baltic Sea Environment Proceedings No.61, HELSINKI COMMISSION Baltic Marine Environment Protection Commission, 1995, 35 p.

F.4. Vandens objektų radioaktyviojo užterštumo nustatymo metodinės rekomendacijos, red. S. M. Vakulovskij, Moskva, Hidrometeoizdat, 1986, 4-22 p. (rusų k.) = Методические рекомендации по определению радиоактивного загрязнения водных объектов. Под ред. С. М. Вакуловского, Москва, Гидрометеиздат, 1986, 4-22 стр.

F.5. LAND 37-2000 „Aplinkos elementų užterštumo radionuklidais matavimas – vandenyje ištirpusio cezio radionuklidų koncentravimas sorbuojančiais filtrais ir vandens tūrinio aktyvumo įvertinimas“, 2000.

F.6. Radionuklidų matavimai maiste ir aplinkoje. Techninių pranešimų serija Nr. 295. Viena, Tarptautinė atominės energetikos agentūra, 1989, 170 p. (anglų ir rusų k.) = Measurements of radionuclides in food and the environment. Techn. Rep. Series No. 295, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1989, 170 p.

F.7. Kamberos mažų aktyvumų gama spektroskopija. Kamberra ref.2, 1997, 55 p. (anglų k.) = Camberra low level gama spectroscopy. Camberra Ref.2, 1997, 55 p.

F.8. Seelmann-Eggebert W. ir kiti. Nuklidų lentelė, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1981 (vokiečių, anglų, prancūzų ir ispanų k.) = Seelmann-Eggebert W. et al. Nuklidkarte, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1981.

F.9. Gilmore G., Hemingway J. D. Praktinė gama spektrometrija, John Wiley & Sons, Chichester, 1995 (anglų k.) = Practical gamma ray spectrometry, John Wiley & Sons, Chichester, 1995.

F.10. Tarptautinis pagrindinių ir bendrųjų metrologijos terminų žodynas. Parengė V. Valiukėnas, P. J. Žilinskas. Vilnius, 1997, 96 p.

F.11. Valiukėnas V., Makariūnienė E., Morkūnas G. Jonizuojančiosios spinduliuotės ir radiacinės saugos terminų žodynas. Vilnius. BĮ UAB „Litimo“, 1999.

F.12. Daukšas K. ir kiti. Chemijos terminų aiškinamasis žodynas. Vilnius. Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 1997.

F.13. Pagrindinės darbuotojų ir gyventojų sveikatos apsaugos nuo jonizuojančiosios spinduliuotės normos. Tarybos direktyva 96/29/EURATOM, 1996 m. gegužės 13 d., Nr. L 159, 39 tomas (anglų k.) = COUNCIL DIRECTIVE 96/29/EURATOM of 13 May 1996 Basic Safety Standards, No L 159 V. 39.

PATVIRTINTA

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro
2000 m. spalio 16 d. įsakymu Nr. 417

SUDERINTA

Sveikatos apsaugos ministerijos
2000 m. liepos 18 d. raštu Nr. 31-08-6927

**APLINKOS ELEMENTŲ UŽTERŠTUMO RADIONUKLIDAIŠ MATAVIMAS –
VANDENYJE IŠTIRPUSIO CEZIO RADIONUKLIDŲ KONCENTRAVIMAS
SORBUOJANČIAISIAIS FILTRAIS IR VANDENS TŪRINIO AKTYVUMO
ĮVERTINIMAS**

LAND 37-2000

Normatyvinis dokumentas įsigalioja nuo 2001 m. sausio 1 d.

I. ĮSPĖJIMAI

1. Kai kurie naudojami chemikalai yra pavojingi! Darbuotojai, naudodami pavojaus ženklų pažymėtas medžiagas, privalo laikytis saugos taisyklių.
2. Jonizuojančioji spinduliuotė kenkia žmonių sveikatai ir aplinkai! Dirbant su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais būtina laikytis radiacinės saugos reikalavimų [3.1, 3.2].
3. Darbuotojai turi laikytis darbo su elektros prietaisais taisyklių bei būti susipažinę su įprasta darbo chemijos laboratorijoje tvarka.

II. TAIKymo SRITIS

4. Šis metodas taikomas cezio radioizotopų nuklidų (išskyrus tuos, kurių pusėjimo trukmė trumpesnė už laiką, būtiną mėginiams paruošti ir matuoti) tūriniais aktyvumams vandenyje įvertinti.
5. Metodo taikymo sritis – vandens tūrinio aktyvumo, mažesnio negu 0,5 Bq/l matavimas. Metodas netinka operatyviam vandens tūrinio aktyvumo matavimui.
6. Ėminio ėmimo (radionuklidų koncentravimo) trukmė – apie 1 val.
7. Matavimo paklaida – nuo 10 iki 30 % (priklausomai nuo vandens tūrinio aktyvumo ir gama spektrometrinės sistemos jautrumo bei matavimo trukmės).
8. Šis metodas taikomas vykdant aplinkos taršos radionuklidais kontrolę ir valstybinį, savivaldybių bei ūkio subjektų aplinkos monitoringą.

III. NORMATYVINĖS NUORODOS

9. Šiame dokumente yra nuorodos į šiuos dokumentus:
 - 9.1. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 1999 05 25 nutarimą „Dėl veiklos su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais licencijavimo“ (Žin., 1999, Nr. [47-1485](#));
 - 9.2. Lietuvos higienos normą HN 73-1997 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“ (Žin., 1998, Nr. [1-31](#)).

IV. APIBRĖŽIMAI

10. Šiame dokumente vartojamos sąvokos:
 - 10.1. **aktyvumas** – radionuklidų kiekis, tam tikru metu esantis tam tikros energetinės būsenos, išreikštas formule:

$$A = dN/dt;$$

čia: A – aktyvumas, dN – savaiminių branduolinių virsmų (šuolių iš minėtos energetinės būsenos) per laiko tarpą dt tikėtinas skaičius. Vienetai: s(-1), specialus vieneto pavadinimas Bq, 1 Bq=1 s⁻¹;

- 10.2. **tūrinis aktyvumas** – bandinio aktyvumo ir jo tūrio santykis. Vienetas: Bq/l;
- 10.3. **detektavimo riba** – mažiausias išmatuojamas mėginio tūrinis aktyvumas;
- 10.4. **ėminys** – medžiaga, paruošta siūsti į laboratoriją ir skirta bandymams;
- 10.5. **matavimo paklaida** – matuojamojo dydžio matavimo rezultato ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės skirtumas;
- 10.6. **mėginys** – ėminio dalis, kurios bandymas, matavimas ar stebėjimas bus atliekami tiesiogiai;
- 10.7. **santykinė paklaida** – matavimo paklaidos ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės santykis.

V. METODO ESMĖ IR PRINCIPAS

11. Metodas pagrįstas vandenyje ištirpusio cezio junginių koncentravimu sorbuojant vandens filtrais, prisotintais vario heksacianoferatu, Cu₂[Fe(CN)₆]. Radionuklidų aktyvumai matuojami gama spektrometru.

VI. ĮRANGA, PRIETAISAI IR MEDŽIAGOS

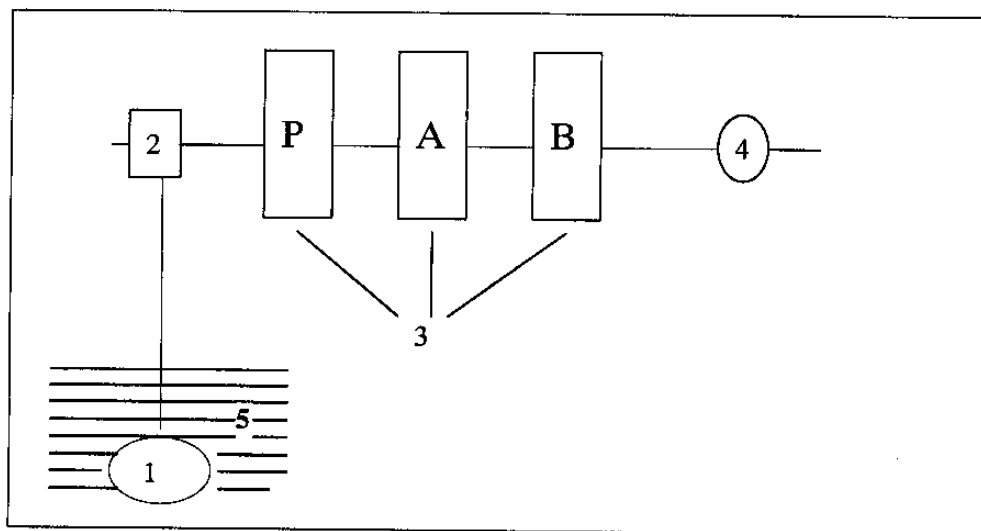
12. Reikalingi reagentai ir medžiagos:

- 12.1. vario nitratas Cu(NO₃)₂·3H₂O, 10 g;
- 12.2. kalcio heksacianoferatas Ca₂[Fe(CN)₆], 10 g;
- 12.3. distiliuotas vanduo.

Naudojami reagentai turi būti ne prastesnės nei „analitiškai grynos“ (a. g.) kokybės (GOST) arba „Guaranteed Reagent for analysis“ (GR) kokybės (ISO).

13. Reikalingi prietaisai ir įranga:

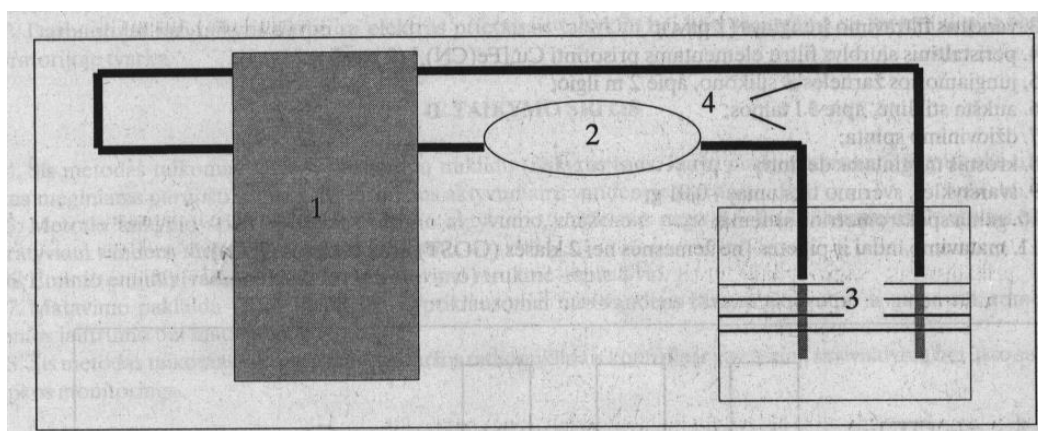
- 13.1. vandens filtrų elementai iš medvilnės pluošto (CUNO Microwynd DCCPY arba analogiški buitiniai vandens filtrų elementai), porų skersmuo 1 μm; 3 vnt.;
- 13.2. polietileno maišeliai filtrams laikyti; 3 vnt.;
- 13.3. vandens filtravimo įrenginys (1 pav.);
- 13.4. peristaltinis siurblys filtrų elementams prisotinti Cu₂[Fe(CN)₆] (2 pav.);
- 13.5. jungiamosios žarnelės iš silikono, apie 2 m ilgio;
- 13.6. aukšta stiklinė, apie 3 l talpos;
- 13.7. džiovavimo spinta;
- 13.8. krosnis mėginiams deginti;
- 13.9. svarstyklės, svėrimo tikslumas – 0,01 g;
- 13.10. gama spektrometrinė sistema;
- 13.11. matavimo indai ir pipetės (ne žemesnės nei 2 klasės (GOST) arba B klasės (ISO)).



1 pav. Vandens filtravimo įrenginys. 1 – vandens siurblys, 2 – vandens srauto reguliavimo čiaupas, 3 – buitiniai vandens filtrai, P – filtras su neapdorotu filtravimo elementu, A ir B – filtrai su elementais, prisotintais $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, 4 – vandens skaitiklis, 5 – vanduo.

VII. FILTRAVIMO ELEMENTŲ PARUOŠIMAS

14. Nauji filtravimo elementai išmirkomi distiliuotame vandenyje ir išdžiovinami.
15. 5 g vario nitrato ištirpinami 400 ml distiliuoto vandens.
16. Filtravimo elementas įstatomas į stiklinę (cilindrą). Vario nitrato tirpalas pilamas į elemento centrą, kad elemento pluoštas sugertų kuo daugiau tirpalo.
17. 5 g kalcio heksacianoferato ištirpinama 400 ml distiliuoto vandens.
18. Tirpalas supilamas ant elemento – iš karto susidaro rudos spalvos drumzlės.
19. Elementas įstatomas į filtro korpusą ir sudaroma uždara tirpalo judėjimo sistema (2 pav.). Į stiklinę papildomai įpilama apie 2 l distiliuoto vandens.
20. Įjungiamas siurblys, kad tirpalas dideliu greičiu tekėtų per filtrą. Procesas tęsiamas tol, kol tirpalas praranda spalvą – visas vario heksacianoferatas susikaupia ant medvilnės pluošto.
21. Išjungiamas siurblys ir filtravimo elementas išimamas iš korpuso.
22. Elementas išdžiovinamas džiovinimo spintoje apie 80°C temperatūroje (apie 48 val.). Atvėsęs sausas elementas laikomas plastikiniame maišelyje.



2 pav. Filtro elemento prisotinimas $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$: 1 – vandens filtras su apdorojamu elementu, 2 – peristaltinis siurblys, 3 – indas su tirpalu, 4 – silikoninės žarnos.

VIII. ĖMINIŲ PAĖMIMAS IR MĖGINIŲ PARUOŠIMAS

23. Radionuklidų koncentravimas:

23.1. į vandens filtravimo įrenginio filtrų korpusus įstatomi filtravimo elementai: į pirmąjį (pagal vandens filtravimo kryptį) įstatomas neapdorotas elementas (priešfiltris), o į kitus du – identiški elementai, prisotinti $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$;

23.2. užrašomas vandens skaitiklio rodmuo;

23.3. įjungiamas vandens siurblys ir per filtravimo įrenginį praleidžiama ne mažiau nei 200 l vandens (esant itin mažam vandens savitajam aktyvumui vandens tūris gali būti didinamas, kad aktyvumas pasiektų detektavimo ribą). Siurbimo greitis – apie 3,5 l/min.;

23.4. siurblys išjungiamas ir užrašomas vandens skaitiklio rodmuo;

23.5. filtravimo elementai išimami, supakuojami į atskirus anksčiau nenaudotus polietileno paketus, ant jų nenuplaunamu žymekliu užrašant kodus ir filtrų numerius, per filtrus pratekėjusio vandens tūrį bei datą. Užpildomas ėminio protokolas, nurodant objektą, ėminio ėmimo vietą, ėminių kodus, pratekėjusio vandens tūrį ir datą bei ėminį paėmusiojo asmens vardą ir pavardę.

24. Mėginių paruošimas:

24.1. laboratorijoje visi filtravimo elementai džiovinami 24 val. temperatūroje, neviršijančioje 105°C , ir sudeginami temperatūroje, neviršijančioje 350°C . Deginimui pagreitinti medvilnės pluoštas atskiriamas nuo karkaso ir deginamas tik pluoštas;

24.2. kiekvieno elemento pelenai supilami į atskirus standartinės formos polietileno indelius gama spektrams matuoti ir pažymimi.

Saugokitės kryžminio mėginių užteršimo!

IX. MATAVIMAI

25. Gama spektrometrine sistema išmatuojamas kiekvieno filtravimo elemento pelenų aktyvumas [A.2].

X. SKAIČIAVIMAI

26. Aktyvumas:

26.1. ištirpusių radionuklidų tūrinis aktyvumas C_v skaičiuojamas taip:

$$C_v = \frac{q_a}{V(1 - q_b / q_a)}; \quad (1)$$

čia: q_a ir q_b – tiriamojo Cs izotopo nuklidų A ir B filtruose aktyvumai (Bq), V – per filtrus pratekėjusio vandens tūris (l);

26.2. sorbcijos efektyvumas f skaičiuojamas pagal formulę:

$$f = 1 - q_b / q_a; \quad (2)$$

26.3. radionuklidų, susijusių su nešmenimis (netirpiomis dalelėmis, didesnėmis negu 1 mm), tūrinis aktyvumas C_p skaičiuojamas taip:

$$C_p = \frac{q_p}{V}; \quad (3)$$

čia: q_p – $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ neapdoroto filtro aktyvumas (Bq).

27. Paklaidos:

27.1. vandens tūrio paklaidą lemia vandens skaitiklio paklaida. Ji nurodyta skaitiklio pase ir paprastai yra 2-3 %;

27.2. aktyvumų q_p , q_a ir q_b – matavimų santykinės paklaidos įvertinamos išanalizavus gama spektrus [A.2]. Šios paklaidos priklauso nuo mėginio aktyvumo bei matavimo trukmės ir paprastai yra pačios reikšmingiausios (> 8 %);

27.3. filtrų sorbcijos efektyvumo santykinė paklaida skaičiuojama pagal formulę:

$$\Delta f = \frac{q_b}{q_a - q_b} \cdot [(\Delta q_a)^2 + (\Delta q_b)^2]^{1/2}; \quad (4)$$

čia: Δq_a ir Δq_b yra A ir B filtrų aktyvumų matavimų santykinės paklaidos;

27.4. tūrinių aktyvumų C_v ir C_p santykinės paklaidos suskaičiuojamos taip:

$$\Delta C_v = [(\Delta q_a)^2 + (\Delta f)^2 + (\Delta V)^2]^{1/2}, \quad (5)$$

$$\Delta C_p = [(\Delta q_p)^2 + (\Delta V)^2]^{1/2}; \quad (6)$$

čia: Δq_p – P filtro aktyvumo matavimo santykinė paklaida ir ΔV – vandens tūrio matavimo santykinė paklaida.

28. Detektavimo riba. Detektavimo ribą D_L lemia gama spektrometrinės sistemos detektavimo riba D_L^γ [A.2] ir sorbcijos efektyvumas f . Ji įvertinama pagal šią formulę:

$$D_L = \frac{D_L^\gamma}{f \cdot V}. \quad (7)$$

XI. KOKYBĖS UŽTIKRINIMAS

29. Siekiant užtikrinti matavimo rezultatų kokybę:

29.1. būtina vengti ruošiamų filtravimo elementų bei kryžminio mėginių užsiteršimo;

29.2. naudoti tik tinkamai kalibruotą gama spektrometrinę sistemą [A.2];

29.3. palyginamieji matavimai turi būti atliekami reguliariai, šiuo metodu gauti rezultatai turi būti palyginami su kitais metodais [A.1, A.3 – A.5] gautais rezultatais.

BIBLIOGRAFIJA

A.1. Petrošius R. ir kiti. Tarptautinės ekspedicijos Ignalinos AE regione rezultatai. Sveikatos aplinka, 2000 m. 3 priedas, 62- 67 p.

A.2. LAND 36-2000 „Aplinkos elementų užterštumo radionuklidais matavimas – mėginių gama spektrinė analizė spektrometru, turinčiu puslaidininkinį detektorių“, 2000.

A.3. Radioaktyvieji išorinės aplinkos teršimai, red. V. P. Švedov ir S. I. Širokov, Moskva, Gosatomizdat, 1962, 42-46 p. (rusų k.) = Радиоактивные загрязнение внешней среды. Под ред. В. П. Шведова и С. И. Ширакова, Госатомиздат, Москва, 1962, 42-46 стр.

A.4. Radioaktyvumas Baltijos jūroje 1984-1991, Baltijos jūros aplinkos darbai Nr. 61, Helsinkio komisija, 1995, 35 p. (anglų k.) = Radioactivity in the Baltic Sea 1984-1991, Baltic Sea Environment Proceedings No.61, HELSINKI COMMISSION, Baltic Marine Environment Protection Commission, 1995, 35 p.

A.5. Vandens objektų radioaktyviojo užterštumo nustatymo metodinės rekomendacijos, Red. S. M. Vakulovskij, Moskva, Hidrometeoizdat, 1986, 21-22 p. (rusų k.) = Методические рекомендации по определению радиоактивного загрязнения водных объектов. Под ред. С. М. Вакуловского, Москва, Гидрометеоиздат, 1986, 21-22 стр.

A.6. Valiukėnas V., Žilinskas P. J. Tarptautinis pagrindinių ir bendrųjų metrologijos terminų žodynas, Vilnius, 1997, 96 p.

A.7. Pagrindinės darbuotojų ir gyventojų sveikatos apsaugos nuo jonizuojančiosios spinduliuotės normos. Tarybos direktyva 96/29/ EURATOM, 1996 m. gegužės 13 d. Nr. L 159, 39 tomas (anglų k.) = COUNCIL DIRECTIVE 96/29/EURATOM of 13 May 1996 Basic Safety Standards, No L 159, V. 39.
