

DOZĖS GALIOS JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS ŠALTINIŲ SAUGYKLOS PAVIRŠIUJE MAŽINIMO, PARENKANT EKRANAVIMO MEDŽIAGĄ, ANALIZĖ

Ingrida Pliopaitė Bataitienė, Anželika Pich

Utenos kolegija,

Maironio g. 18, Utena

Anotacija

Ignalinos atominės elektrinės (IAE) radiochemijos laboratorijoje tiriama radioaktyviųjų atliekų radionuklidinė ir cheminė sudėtis, vykdoma trumpaamžių ir ilgaamžių radionuklidų, esančių radioaktyviųjų atliekų srautuose, išskyrimas, atskyrimas ir aktyvumo matavimas. Laboratorijoje naudojami standartiniai ir sukurti nestandartiniai tyrimų metodai įvairių radionuklidų aktyvumo koncentracijai nustatyti. Norint užtikrinti laboratorijoje atliekamų tyrimų kokybę, gautų rezultatų patikimumą ir tikslumą, naudojama sertifikuota pamatinė medžiaga – jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai (šaltiniai, JSŠ). Šie šaltiniai skleidžia įvairios kilmės jonizuojančiąją spinduliuotę, dėl kurios darbuotojai patiria apšvitą. Svarbu, kad patiriama darbuotojų apšvita neviršytų norminių dydžių – 50 mSv per metus, su sąlyga, kad per 5-ių metų laikotarpį jis gaus apšvitą, mažesnę nei 20 mSv per metus. Tai užtikrina tinkamas JSŠ laikymas, naudojanti ekranuojančias medžiagas. Pagal gautus analizės rezultatus parinkus JSŠ saugojimo priemonę su 41 mm jonizuojančiosios spinduliuotės ekranavimo švininiu sluoksniu, darbuotojų metinė apšvita, būtų mažesnė nei 20 mSv per metus.

Reikšminiai žodžiai: jonizuojančioji spinduliuotė, dozės galia, jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai, apsauginiai ekranai.

Įvadas

Jonizuojančioji spinduliuotė, Lietuvos Respublikos radiacinės saugos įstatyme apibrėžiama, kaip: „dalelių srautas ar 100 nanometrų bangos ilgio ir trumpesnės (3×10^{15} Hz ir aukštesnio dažnio) elektromagnetinės bangos, kurių energijos pakanka jonams tiesiogiai arba netiesiogiai sukurti“ (Lietuvos..., 1999-01-12). Tvarkant radioaktyvias atliekas („panaudotas branduolinis kuras ir kitos dujinės, skystosios ar kietosios pakartotinai naudoti neskirtos radioaktyviosios medžiagos, kurios neatitinka nebekontroliavimo kriterijų ir kurioms Radiacinės saugos centras ar Valstybinė atominės energetikos saugos inspekcija taiko reguliuojamąją kontrolę“ (Lietuvos..., 1999-06-09)), žmonės ir aplinka yra veikiami jonizuojančiosios spinduliuotės. „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo veikla apima pradinį, pagrindinį ir galutinį radioaktyviųjų atliekų apdorojimą, vežimą, saugojimą, dėjimą į atliekyną, atliekyno uždarymą ir uždaryto atliekyno priežiūrą“ (Lietuvos..., 1999-06-09). Paruošiamasis apdorojimas yra pirminis atliekų tvarkymo etapas, kurio metu atliekos suskirstomos į nebekontroliuojamas, į reikalaujančias konkrečių apdorojimo būdų, paviršinio arba giluminio dėjimo į atliekynus. Atliekų apdorojimas, skirtas saugumui arba ekonomiškumui didinti, keičiant atliekų savybes. Radioaktyvias atliekas koncentruojant ir pakuojat atliekoms suteikiama chemiškai ir termiškai stabili forma, kuri stabilumą išlaiko transportuojant, saugant ir dedant į atliekynus. Kietos būsenos atliekoms suteikimas, t. y. imobilizacija, vykdoma jų sukietinimo, įterpimo į matricą ir hermetiškas formas būdu. Imobilizuotos atliekos gali būti pakuojamos į įvairius konteinerius. Užtikrinus būtiną saugumą atliekų lokalizavimas specialiai įrengtoje saugykloje – atliekyne („radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginys, į kurį dedamos radioaktyviosios atliekos neketinant jų išimti“ (Lietuvos..., 1999-05-20)) yra radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapas. Šiuose atliekynuose numatyti

gamtiniai ir inžineriniai barjerai, neleidžiantys radionuklidams pasklisti aplinkoje. „Visuose radioaktyviųjų atliekų tvarkymo iki jų dėjimo į radioaktyviųjų atliekų atliekyną etapuose privaloma apibūdinti radioaktyviasias atliekas, t.y. nustatyti jų radionuklidinę ir cheminę sudėtį, fizines, chemines, radiologines ir biologines savybes, o pagal nustatytą sudėtį ir savybes turi būti parinkti radioaktyviųjų atliekų tvarkymo būdai“ (BSR 3.1.2-2017, 2010).

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo procese dažniausiai susiduriama su dirbtinės kilmės jonizuojančiąja spinduliuote – t.y. elektromagnetinių bangų arba elementariųjų dalelių srautas, kuris jonizuoja medžiagos atomus ir molekules, paversdamas juos teigiamais arba neigiamais jonais. Skiriamos šios jonizuojančiosios spinduliuotės rūšys (Ignalinos..., 2002; Butkus, 2006):

- alfa spinduliuotė – tai alfa dalelių (2 protonai + 2 neutronai) išspinduliavimas iš atomo branduolio, alfa dalelės turi teigiamą elektrinį krūvį ir pasižymi didele energija;
- beta spinduliuotė – tai beta dalelių (elektronai) išspinduliavimas iš atomo branduolio, beta dalelės turi nedidelę masę, mažesnę energiją ir neigiamą elektrinį krūvį;
- gama spinduliuotė – tai aukšto dažnio elektromagnetinių bangų išspinduliavimas iš atomo branduolio, gama spinduliuotė neturi nei krūvio, nei masės ir pasižymi didele energija;
- neutronų spinduliuotė – tai dalelių (neutronų) išspinduliavimas iš atomo branduolio. Neutronai neturi elektros krūvio ir pasižymi didele energija.

Jonizuojančiąją spinduliuotę skleidžia ne tik radioaktyviosios medžiagos, bet ir jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai (jonizuojančiąją spinduliuotę skleidžiantis ar radioaktyviasias medžiagas išmetantis objektas, galintis sukelti apšvitą (Lietuvos..., 1999-01-12).

Jonizuojančiosios spinduliuotės (spinduliuotė, JS) poveikis žmogaus organizmui priklauso nuo sugertosios dozės, poveikio trukmės, spinduliuotės rūšies, organizmo savybių. Ši spinduliuotė, sąveikaudama su medžiaga, perduoda savo energiją medžiagos atomams. Įvyksta atomų sužadinimo ir jonizacijos procesai. JS sukelia pokyčius molekulėse, keičia sąveiką tarp molekulių bei tuo pažeidžia ląsteles. JS biologinis poveikis gali būti tiesioginis ir netiesioginis. Netiesioginis biologinis jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis – jonizuojamos organizme esančios vandens molekulės, susidaro laisvieji radikalai, kurie sukelia molekulių struktūros ir cheminius pokyčius. Tiesioginio jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio atveju ląstelė jonizuojama ir pažeidžiama. Jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio dydis priklauso nuo apšvitos dozės dydžio bei pasiskirstymo organizme. Neigiamas jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis skirstomas į nulemtuosius bei atsitiktinius reiškinius. Nulemtieji (deterministiniai) reiškiniai pasireiškia gavus dideles dozes, nuo dozės dydžio priklauso poveikis sveikatai. Patyrus didelę apšvitą, ląstelės žūva arba yra pažeidžiamos. Žuvusios ląstelės neatsistato, pažeistos gali atsistatyti, jei pažeista ląstelė nesugeba tinkamai atsistatyti, iškyla ląstelės išsigimimo pavojus. Nedidelės apšvitos dozės potencialiai gali sukelti atsitiktinius (stochastinius) reiškinius, kaip vėžiniai ar genetiniai susirgimai, nuo dozės dydžio priklauso pasekmių pasireiškimo tikimybė. Didelėmis dozėmis jonizuojančioji spinduliuotė gali pakenkti mūsų kūno ląstelėms ar organams arba net sukelti mirtį (Nedveckaitė, 2004; Butkus, 2006).

Darbuotojų gaunama apšvita yra reglamentuojama Lietuvos higienos normos HN 73:2018 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“. Didžiausia apšvita, kurią gali patirti darbuotojas, yra 50 mSv per metus, su sąlyga, kad per 5-ių metų laikotarpį jis gaus apšvitą, mažesnę nei 20 mSv per metus. Apšvita taip pat reglamentuojama akies lęšiukui ir galūnėms (rankoms ir kojoms) bei odai. Didžiausia lygiavertė dozė, kurią gali gauti akies lęšiukas, neturi viršyti 150 mSv per metus, galūnės (rankos ir kojos) ar oda – 500 mSv per metus“ (Lietuvos..., 2001; Radiacinės..., 2024).

Dirbant kontroliuojamoje zonoje (kontroliuojamo patekimo zona, kurioje taikomos specialios taisyklės, siekiant užtikrinti apsaugą nuo jonizuojančiosios spinduliuotės ar užkirsti kelią radioaktyviojo užterštumo plitimui (Lietuvos..., 2001)) vykdoma tiek išorinės, tiek vidinės apšvitos profilaktika. Čia dirbantiems darbuotojams privalomos asmeninės apsaugos, kurios užtikrina būtiną kūno apsaugą nuo paviršinės radioaktyviosios taršos. Apsaugai ir išorinės apšvitos dozės mažinimui taikomi keli bendri principai, kurių būtina laikytis atliekant radiacijos požiūriu pavojingus darbus kontroliuojamoje zonoje:

- Laikas. Darbų, susijusių su apšvita, atlikimas per minimalų laiką (buvimo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio zonoje laiko ribojimo principas).
- Atstumas. Maksimalaus atstumo nuo šaltinio iki žmogaus, dirbant su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais, užtikrinimas (spinduliavimo srauto mažinimo proporcingai atstumo kvadratui nuo taškinio šaltinio ir dozės galios mažinimo proporcingai atstumui nuo ištisinio šaltinio principas).
- Apsauginiai ekranai. Spinduliuotės intensyvumo mažinimas ekranais (konstrukcinis technologinis principas). „Radionuklidų barjeras – fizinė kliūtis, sulaikanti arba sulėtinanti radionuklidų ir jų turinčių medžiagų sklaidimą į aplinką“ (Lietuvos..., 1999-05-20).

Neutronų, alfa, beta, gama spinduliai turi galimybę prasiskverbti į medžiagą, tačiau šio gebėjimo laipsnis skiriasi priklausomai nuo spinduliuotės tipo. Pavyzdžiui, alfa spindulius gali sustabdyti popieriaus lapas. Beta spindulių vienas popieriaus lapas negali sustabdyti, tačiau beta spinduliavimą galima sustabdyti pasirenkant medžiagą ir jos storį, pavyzdžiui, plonomis metalinėmis plokštėmis, tokiomis kaip aluminis. Gama spindulius ir rentgeno susilpninti gali tik storas betono ar švino sluoksnis. Neutronus sulėtinti gali vandenilio turinti medžiaga, pavyzdžiui, vanduo (Butkus, 2006).

Tyrimo objektas – dozės galia jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių saugyklos paviršiuje.

Tyrimo tikslas – įvertinti radiochemijos laboratorijoje esamos dozės galios JSŠ saugyklos paviršiuje (12,5 $\mu\text{Sv/h}$) susilpnėjimo kartotinumą, parinkus JSŠ skleidžiamos spinduliuotės apsaugai fizinę kliūtį.

Tyrimo problema – JSŠ turi būti saugomi taip, kad gama spinduliuotės ekvivalentinės dozės galios vertė šaltinių saugojimo patalpoje neviršytų 12 $\mu\text{Sv/h}$ (Valstybinės..., 2011), o atliekant dozimetrinę kontrolę buvo nustatyta, kad gama spinduliuotės ekvivalentinės dozės galios vertė JSŠ saugojimo spintos paviršiuje yra 12,5 $\mu\text{Sv/h}$.

1. Dozės galios JSŠ saugyklos paviršiuje susilpnėjimo kartotinumą vertinimo metodika

Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių nulemtos apšvitos ir jos silpninimo kartotinumą analizuojamas pagal VĮ Ignalinos atominės elektrinės radiochemijos laboratorijoje naudojamus JSŠ. Ignalinos atominės elektrinės (IAE) radiochemijos laboratorijoje tiriama radioaktyviųjų atliekų radionuklidinė ir cheminė sudėtis, vykdoma trumpaamžių ir ilgaamžių radionuklidų, esančių radioaktyviųjų atliekų srautuose, išskyrimas, atskyrimas ir aktyvumo matavimas. Skirtingų radioaktyviųjų atliekų srautų ėminių tyrimai vykdomi pagal su VATESI suderintas programas, tyrimai atliekami naudojant žymeklių metodus ir specialią įrangą. Tyrimo metu ėminyje tiesiogiai matuojamas gama spinduliuotės aktyvumas, arba atliekamas tikslinių radionuklidų radiocheminis išskyrimas iš ėminių medžiagos, kuomet taikomi įvairūs radionuklidų atskyrimo (gryninimo) metodai, pavyzdžiui, mažai tirpių junginių nusodinimas, jonų mainais pagrįstas atskyrimo metodas (naudojant jonų mainų dervas), radionuklidų paviršimas dujine forma bei tolesnė jų sorbcija tam tikruose tirpaluose ir t. t. Išgryninti radionuklidai tinkami alfa ir beta spinduliuotės aktyvumo matavimams atlikti, naudojant spektrometrinę įrangą. Paruošus radioaktyviųjų atliekų ėminį (paėmus alikvotą, pasvėrus) atliekamas ėminio tiesioginis gama spektrometrinis matavimas tam, kad galima būtų įvertinti nuklidinę ėminio sudėtį, aptikti lengvai matuojamus (atraminius) radionuklidus bei nustatyti jų kiekį. Vykdam sunkiai matuojamų radionuklidų radiocheminį išskyrimą, ėminio alikvota gali būti filtruojama, deginama, garinama, džiovinama ir pan., naudojant laboratorijos specialiąją įrangą, laikantis atitinkamo metodo reikalavimų. Radionuklidų išskyrimas gali užtrukti nuo 4 valandų iki 2 savaičių. Vėliau atliekami alfa ir beta spinduliuotės aktyvumo matavimai naudojant alfa spektrometrą ir skysčių scintiliacijos skaitiklį. Laboratorijoje naudojami standartiniai ir sukurti nestandartiniai tyrimų metodai radionuklidų ^3H , $^{14}\text{C}_{\text{org}}$, $^{14}\text{C}_{\text{inorg}}$, $^{14}\text{C}_{\text{total}}$, ^{36}Cl , ^{55}Fe , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{129}I , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{137}Cs , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm aktyvumo koncentracijai nustatyti. Norint užtikrinti LST EN ISO/IEC 17025:2018 standarto „Tyrimų, bandymų ir kalibravimo laboratorijų kompetencijai keliama bendrieji reikalavimai“ reikalavimus, matavimų rezultatų,

naudojamų radioaktyviųjų atliekų apibūdinimui, patikimumą ir tikslumą, naudojama sertifikuota pamatinė medžiaga – jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai. JSŠ naudojimas leidžia palyginti gautus rezultatus su JSŠ sertifikate nurodyta aktyvumo verte, užtikrinant rezultato metrologinį sietį su matavimo vienetu – bekereliu. Laboratorijoje naudojami tiek uždarieji, tiek atvirieji JSŠ (1 pav.)



1 pav. JSŠ šaltinių pavyzdžiai: a – uždarieji JSŠ, b – atvirieji JSŠ
Šaltinis: PerkinElmer katalogas

IAE radiochemijos laboratorijoje Naudojamų JSŠ šaltinių charakteristikos pateikiamos 1 lentelėje.

1 lentelė. JSŠ charakteristika (Šaltinis: sudaryta autorių)

Eil. Nr.	Spinduliuotės rūšis	Radionuklidas	JSŠ, aktyvumas, MBq	Eil. Nr.	Spinduliuotės rūšis	Radionuklidas	JSŠ, aktyvumas, MBq
1	β	H-3	0,047317	15	β	Sr-90	0,00924
2	β	H-3	0,607	16	β	Sr-90	0,009324
3	β	H-3	0,1332667	17	β	Tc-99	0,07425
4	β	C-14	0,0191667	18	β	I-129	0,005707
5	β	C-14	0,0682667	19	β	I-129	0,005931
6	β	C-14	0,1012	20	γ	Cs-137	0,390
7	β	C-14	0,2702	21	γ	Eu-155, Na-22	0,037
8	β	Cl-36	0,1004	22	γ	Eu-152	0,390
9	β	Cl-36	0,1003	23	α	Pu-242	0,0007
10	β	Fe-55	0,1035	24	α	Pu-242	0,0005028
11	β	Fe-55	0,6	25	α	Am-243	0,004366
12	γ	Co-60	0,26	26	α	Am-243	0,0055
13	β	Ni-63	0,1048	27	γ	Am-241, Cs-137, Co-60	0,091
14	β	Ni-63	0,1084	28	γ	Am-241, Cs-137, Ba-133, Co-60, Eu-152	0,0529

Radiacinės saugos požiūriu IAE radiochemijos laboratorijos patalpos yra kontroliuojamoje zonoje, ir priskiriamos III kategorijai. Laboratorijoje naudojami JSŠ laikomi apsauginiame seife (atskirai nuo kitų daiktų ar medžiagų), įrengtam atskiroje patalpoje, kad būtų užkirstas kelias pašaliniais asmenims prieiti prie jų. Seifas rakinamas, plombuojamas ir yra paženklintas radiacinės pavojaus ženklu, o jo viduje pakabinta JSŠ išdėstymo schema. Laboratorijos atsakingasis vykdytojas parengia JSŠ sąrašą ir pildo apskaitos žurnalą.

Atsižvelgiant į tai, kad IAE radiochemijos laboratorijos veikloje pagrindiniai radioaktyvumo užterštumo šaltiniai yra radioaktyviųjų atliekų ėminiai ir kokybės kontrolei naudojami JSŠ, vykdoma darbuotojų individualiosios apšvitos ir darbo vietų stebėseną vertinant darbuotojų išorinės, vidinės ir akies lęšiuko apšvitos dozes, darbo vietų dozės galios, paviršių radioaktyviojo užterštumo ir oro

radioaktyviojo užterštumo rezultatus. Laboratorijos personalo išorinė apšvita ataskaitiniais metais kontroliuojama termoluminescenciniais dozimetrais „RADOS“ vieną kartą per mėnesį, operatyvioji kontrolė vykdoma elektroniniais dozimetrais RAD, DMC2000, EPD-MK2 ir EPD-N2. Apšvitos dozės galia seifo, kuriame laikomi JSŠ, paviršiuje neturėtų viršyti ribinę vertę, nustatytą tos patalpos, kuriame įrengtas seifas, III kategorijai (2 lentelė).

2 lentelė. IAE kontroliuojamoje III kategorijos zonoje esančių patalpų kontroliuojamieji dydžiai (**Šaltinis: sudaryta autorių pagal (Valstybinės..., 2011)**)

Kontroliuojamieji dydžiai	III kategorija
	iki
Dozės galia, $\mu\text{Sv/h}$	<12
Paviršinis užterštumas β dalelėmis, Bq/cm^2	<40
Paviršinis užterštumas α dalelėmis, Bq/cm^2	<4
Aerozolių tūrinis aktyvumas, Bq/m^3 (išlaikius 30 minučių)	<185

Dozės galios bei jonizuojančiosios spinduliuotės ekranavimo storio skaičiavimai atlikti naudojant *Rad Pro Calculator* (Rad ..., 2024).

Gama spindulių lygiavertės dozės galia apskaičiuojama pagal formulę (Butkus, 2011; Shielding ..., 2024):

$$\dot{H} = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{r^2}, \quad (1)$$

čia: $\dot{H}$ – lygiavertės dozės galia, Sv/s; K_{γ} – radionuklido, gama spindulio, gama konstanta, $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{Bq} \cdot \text{s})^{-1}$; A – radionuklido aktyvumas, Bq; r – atstumas nuo stebėjimo vietos iki šaltinio, m.

Jonizuojančiosios spinduliuotės ekranuojančios medžiagos storis skaičiuojamas pagal formulę (Butkus, 2011; Shielding ..., 2024):

$$x = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{\mu}, \quad (2)$$

čia: x – ekranuojančios medžiagos storis, m; I – x storio sluoksnį medžiagoje nusklidusios spinduliuotės intensyvumas; I_0 – spinduliuotės intensyvumas, prieš patenkant į medžiagos sluoksnį x .

Apsauga nuo spinduliuotės apskaičiuojama nustatant lygiavertės dozės galios susilpnėjimo kartotinumą tam tikrame taške nesant apsaugos iki projektinės dozės galios pagal formulę (Švino..., 2024):

$$K = \frac{\dot{H}}{\dot{H}_0}, \quad (3)$$

čia: $\dot{H}$ – nurodyta, apskaičiuota arba išmatuota dozė, Sv/s; $\dot{H}_0$ – dozės ribinė vertė, Sv/s.

2. Dozės dalios JSŠ saugyklos paviršiuje susilpnėjimo kartotinumų vertinimo rezultatai

Atliekant radioaktyviųjų atliekų analizę IAE radiochemijos laboratorijoje yra naudojami 28 jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai, kurių aktyvumas kinta nuo 0,5 kBq iki 0,4 MBq ribose. Šių

šaltinių skleidžiama jonizuojanti spinduliuotė lemia darbuotojų apšvitą. Didžiausia apšvita, kurią gali patirti darbuotojas vadovaujantis HN 73:2018 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“ reikalavimais yra 50 mSv per metus, su sąlyga, kad per 5-ųjų metų laikotarpį jis gaus apšvitą, mažesnę nei 20 mSv per metus, o IAE metinė apribotoji dozė yra 18 mSv, paros – 0,2 mSv. Atliekant dozimetrinę kontrolę buvo nustatyta, kad gama spinduliuotės ekvivalentinės dozės galios vertė JSS laikymo seifo paviršiuje nustatyta 12,5 $\mu\text{Sv/h}$. Remiantis teisės aktu (Valstybinės..., 2011), apšvitos dozės galia JSS saugykla paviršiuje turėtų būti mažesnė už III kategorijos patalpos, kurioje įrengta saugykla, ribinę vertę – 12 $\mu\text{Sv/h}$. Užterštumo lygis sunkiai šalinamas iki leistinos ribos, tai sudaro aplinkos ir darbuotojų radioaktyvaus užteršimo riziką.

Pagal 1 lentelėje pateiktus duomenis apie naudojamus JSS, matome, kad laboratorijoje naudojami tris spinduliuotės rūšis skleidžiantys šaltiniai – α , β , γ . Atsižvelgiant į tai, kad γ spinduliuotė yra skvarbiausia, lygiavertės dozės galios bei jonizuojančiosios spinduliuotės ekranavimo storio skaičiavimai bei lygiavertės dozės galios susilpnėjimo kartotinumai vertinti tik pagal JSS, skleidžiančius šią spinduliuotę. 2, 3, 4 pav. pateikiami gama spindulių JSS dozės galios skaičiavimai.

2 pav. Rad Pro Calculator dozės galios skaičiavimas ^{60}Co JSS

Šaltinis: sudaryta autorių naudojant Rad Pro Calculator

Naudojant programinę įrangą Rad Pro Calculator ^{60}Co JSS dozės galios skaičiavimui įvedamas žinomas analizuojamo šaltinio aktyvumo dydis, pasirenkamas atstumas 20 cm, nes toks atstumas yra nuo šaltinio iki fizinio barjero paviršiaus. Apskaičiuota dozės galia 20 cm atstumu nuo ^{60}Co JSS yra 199 $\mu\text{Sv/h}$, darant prielaidą, kad jonizuojančioji spinduliuotė nėra ekranuojama. Esant tokiai dozės galios vertei ir dirbant darbuotojui 80 valandų per metus, yra 160 mSv, o tai net 3,2 kartus didesnė nei galima metinė didžiausia metinė apšvita (50 mSv per metus, su sąlyga, kad per 5-ųjų metų laikotarpį jis gaus apšvitą, mažesnę nei 20 mSv per metus). Pagal Rad Pro Calculator atliktus skaičiavimus 3,2 karto apšvitą sumažintų 17 mm švino sluoksnis. Norint, kad darbuotojų metinė apšvita, būtų mažesnė nei 20 mSv per metus jonizuojančiosios spinduliuotės ekranavimo švininis sluoksnis turėtų būti 41 mm.

Gamma Emitter Point Source Dose-Rate <--to--> Activity and Shielding Calculations (In Air)

Select Calculation
☒ Activity and Dose-Rate ☐ Shield Thickness ☐ Add Shielding

Enter or Select Isotope
Cs-137

Select Dose-Rate Units
mSv/hr

Select Activity Units
MBq

Select Distance Units
Centimeters

Select Activity Calculation
☒ Activity to Dose-Rate
☐ Dose-Rate to Activity

Enter Activity
0,39 MBq

Enter Distance
20 cm

Calculate

0,39 MBq of Cs-137 at 20 Centimeters
0.0744412750849184 mSv/hr
Calculated Dose-Rate

[About the Gamma Calculator](#) [Gamma Emission and Exposure Rate](#)

3 pav. Rad Pro Calculator dozės galios skaičiavimas ^{137}Cs JSŠ
Šaltinis: sudaryta autorių naudojant Rad Pro Calculator

^{137}Cs JSŠ dozės galios skaičiavimui įvedamas žinomas analizuojamo šaltinio aktyvumo dydis, pasirenkamas atstumas 20 cm, nes toks atstumas yra nuo šaltinio iki fizinio barjero paviršiaus. Apskaičiuota dozės galia 20 cm atstumu nuo JSŠ yra 74 $\mu\text{Sv/h}$, darant prielaidą, kad jonizuojančioji spinduliuotė nėra ekranuojama. Esant tokiai dozės galios vertei ir dirbant darbuotojui 80 valandų per metus, yra 5,9 mSv – t.y. neviršijama metinė didžiausia metinė apšvita.

Gamma Emitter Point Source Dose-Rate <--to--> Activity and Shielding Calculations (In Air)

Select Calculation
☒ Activity and Dose-Rate ☐ Shield Thickness ☐ Add Shielding

Enter or Select Isotope
Eu-152

Select Dose-Rate Units
mSv/hr

Select Activity Units
MBq

Select Distance Units
Centimeters

Select Activity Calculation
☒ Activity to Dose-Rate
☐ Dose-Rate to Activity

Enter Activity
0,39 MBq

Enter Distance
20 cm

Calculate

0,39 MBq of Eu-152 at 20 Centimeters
0.120939437431409 mSv/hr
Calculated Dose-Rate

[About the Gamma Calculator](#) [Gamma Emission and Exposure Rate](#)

4 pav. Rad Pro Calculator dozės galios skaičiavimas ^{152}Eu JSŠ
Šaltinis: sudaryta autorių naudojant Rad Pro Calculator

^{152}Eu JSŠ dozės galios skaičiavimui įvedamas žinomas analizuojamo šaltinio aktyvumo dydis, pasirenkamas atstumas 20 cm, nes toks atstumas yra nuo šaltinio iki fizinio barjero paviršiaus. Apskaičiuota dozės galia 20 cm atstumu nuo JSŠ yra 121 $\mu\text{Sv/h}$, darant prielaidą, kad jonizuojančioji spinduliuotė nėra ekranuojama. Esant tokiai dozės galios vertei ir dirbant darbuotojui 80 valandų per metus, yra 9,6 mSv – t.y. neviršijama metinė didžiausia metinė apšvita.

Svarbu nepamiršti, kad JSŠ saugykloje laikomas ne vienas šaltinis, skleidžiantis jonizuojančiąją spinduliuotę, kuri gali lemti darbuotojų apšvitą. Atsižvelgiant į JSŠ šaltinių skleidžiamos spinduliuotės rūšį (α , β , γ), tikslinga taikyti ir organizacinę priemonę – t.y. atskirai saugoti, skirtingą spinduliuotę skleidžiančius JSŠ. Tai leistų apsaugoti nuo rizikos užteršti kitų šaltinių spinduliuote, kai vienas šaltinis išimamas arba įdedamas.

Atsižvelgiant į gautus dozės galios rezultatus norint, kad gama spinduliuotės ekvivalentinės dozės galios vertė JSŠ laikymo seifo paviršiuje neviršytų ribinės vertės, kuri yra 12 $\mu\text{Sv/h}$, JS svarbumą reiktų mažinti įrengiant bent 17 mm švino sluoksnis. Norint, kad darbuotojų metinė apšvita, būtų mažesnė nei 20 mSv per metus jonizuojančiosios spinduliuotės ekranavimo švininis sluoksnis turėtų būti 41 mm.

Išvados

1. Apskaičiuota dozės galia 20 cm atstumu nuo ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{152}Eu JSŠ. Didžiausias indėlis yra dėl ^{60}Co skleidžiamos jonizuojančiosios spinduliuotės – 199 $\mu\text{Sv/h}$, darant prielaidą, kad spinduliuotė nėra ekranuojama. Esant tokiai dozės galios vertei ir dirbant darbuotojui 80 valandų per metus, yra 160 mSv, o tai net 3,2 kartus didesnė nei galima metinė didžiausia metinė apšvita.
2. Parinkus 41 mm jonizuojančiosios spinduliuotės ekranavimo švininį sluoksnį darbuotojų metinė apšvita, būtų mažesnė nei 20 mSv per metus.
3. Darbuotojų metinė apšvita gali būti mažinama ir naudojant organizacines JSŠ saugojimo priemonės – pvz., organizuojant JSŠ saugojimą, atsižvelgiant į šaltinių skleidžiamos spinduliuotės rūšį.

Literatūros sąrašas

1. Butkus, D. (2006). Jonizuojančioji spinduliuotė aplinkoje. Vilnius: Technika, 292 p.
2. Butkus, D. (2011). Jonizuojančioji spinduliuotė aplinkoje. Mokomasis uždavinynas. Vilnius: Technika, 166 p.
3. ChemLin. Prieiga internetu: <https://chemlin.org/> Žiūrėta 2024-07-30.
4. *Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai. PerkinElmer katalogas*
5. Lietuvos Respublikos radiacinės saugos įstatymas. 1999-01-12. Valstybės žinios, Nr. 11-239.
6. Lietuvos Respublikos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įstatymas. 1999-06-09. Valstybės žinios, Nr. 50-1600.
7. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro įsakymas dėl Lietuvos higienos normos HN 73:2018 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“ patvirtinimo 2001 m. gruodžio 21 d. Nr. 663, Vilnius.
8. LST EN ISO/IEC 17025:2018 standartas „Tyrimų, bandymų ir kalibravimo laboratorijų kompetencijai keliama bendrieji reikalavimai“.
9. Nedveckaitė, T. (2004). Radiacinė sauga Lietuvoje. Vilnius: Kriventa, 239p.
10. Radiacinės saugos centras. Gyventojų apšvita ir radiacinė sauga. Prieiga internetu: <https://rsc.lrv.lt/lt/informacija-gyventojams/gyventoju-apsvita-ir-radiacine-sauga/> Žiūrėta 2024-03-25.
11. RadProCalculator. Prieiga per internetą: <http://radprocalculator.com/default.aspx>, // Žiūrėta 2024-07-30.
12. Shielding Equations and Buildup Factors Explained. Prieiga per internetą: <http://radprocalculator.com/Files/ShieldingandBuildup.pdf>, // Žiūrėta 2024-07-30.
13. Švino ekrano storis (mm) priklauso nuo slopinimo koeficiento ir gama spinduliuotės energijos. Prieiga internetu: <https://rad-don.narod.ru/spravka/protekt.htm> // Žiūrėta 2024-03-25.
14. Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos viršininko 2011 m. spalio 6 d. įsakymas Nr. 22.3-95 „Dėl Branduolinės saugos reikalavimų BSR-1.9.3-2016 „Radiacinė sauga branduolinės energetikos objektuose“ patvirtinimo“ (Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos viršininko 2016 m. spalio 21d. įsakymo Nr. 22.3-171 redakcija) // Valstybės žinios. 2011-10-11, Nr. 122-5798 (Nr. 22.3-171, 2016-10-21, TAR 2016-10-21).
15. Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos viršininko 2010 m. gruodžio 31 d. įsakymas Nr. 22.3-120 „Dėl Branduolinės saugos reikalavimų BSR 3.1.2-2017 „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas branduolinės energetikos objektuose iki jų dėjimo į radioaktyviųjų atliekų atliekyną“ patvirtinimo“ (Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos viršininko 2017 m. liepos 31 d. įsakymo Nr. 22.3-132 redakcija) // Valstybės žinios. 2011-01-08, Nr. 3-121 (Nr. 22.3-132, 2017-07-31, TAR 2017-07-31).
16. Ignalinos atominė elektrinė, Kärnkraftsäkerhet och Utbildning (2002). Radiacinė sauga. Mokymo priemonė. Visaginas.

ANALYSIS OF DOSE REDUCTION OF IONIZING RADIATION SOURCES ABOVE THE STORAGE, WHILE SCREENING THE MATERIAL

Ingrida, Pliopaitė Bataitienė, Anželika, Pich

*Utenos kolegija Higher Education Institution,
18 Maironio str., Utena*

Summary

At the Ignalina Nuclear Power Plant (IAE) radiochemistry laboratory, the radionuclide and chemical composition of radioactive waste is investigated. The separation and measurement of activity of short-lived and long-lived radionuclides present in radioactive waste streams is performed. The laboratory uses both standard and developed non-standard research methods to determine the activity concentration of various radionuclides. To ensure the quality of tests, trials, and calibrations, and the reliability and accuracy of the results obtained, certified reference materials – ionizing radiation sources (IRS) – are used. These sources emit ionizing radiation of various origins, exposing workers to radiation. It is important that the radiation exposure of workers does not exceed regulatory limits - 50 mSv per year, provided that over a 5-year period, the exposure does not exceed 20 mSv per year. This is ensured by proper storage of the IRS, using shielding materials. According to the analysis results, by selecting a storage means for IRS with a 41 mm lead shielding layer, the annual radiation exposure for workers would be less than 20 mSv per year.

Key words: ionizing radiation, dose rate, sources of ionizing radiation, shielding screens.