

Partneriai:



Subteikėjai:



MAIŠIAGALOS RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ SAUGYKLOS
EKSPLOATAVIMO NUTRAUKIMO PROJEKTO APRAŠO, KITŲ
EKSPLOATAVIMO NUTRAUKIMO LICENCIJAI GAUTI
REIKALINGŲ DOKUMENTŲ IR MAIŠIAGALOS
RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ SAUGYKLOS GRIOVIMO
PROJEKTO PARENGIMO PASLAUGOS

Projekto vadovas,
Lietuvos energetikos instituto
Branduolinės inžinerijos problemų laboratorijos vadovas
Povilas Poškas

RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO Į APLINKĄ PLANAS

Versija 4
Leidimas 2

Kaunas, 2020



LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTAS

Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
Tel. (8 37) 351403 • Faksas (8 37) 351271



S/14-1919.19.20/RIAP/V:04.02

BRANDUOLINĖS INŽINERIJOS PROBLEMŲ LABORATORIJA

RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO Į APLINKĄ PLANAS

Versija 4
Leidimas 2

Prof. habil. dr. P. Poškas

2020 m. rugsėjo 7 d.

<i>Ataskaitos pavadinimas:</i> Radionuklidų išmetimo į aplinką planas <i>Etapas ir pavadinimas:</i> ataskaita (versija 4)		<i>Išleidimo data:</i> 2020-09-07	
<i>Autoriai:</i> LEI Branduolinės inžinerijos problemų laboratorijos darbuotojai:	<i>Indėlis:</i>	<i>Projekto vadovas:</i> Prof. habil. dr. P. Poškas	<i>Psl. sk./ Priedų psl. sk.:</i> 32 / 0
<i>Užsakovas:</i> VĮ Ignalinos atominė elektrinė (IAE)		<i>Sutarties data:</i> 2019-04-18 (sutartis įsigaliojo 2019-04-25)	<i>Ataskaitos identifikatorius:</i> S/14- 1919.19.20/RIAP/V:04.02
<i>Sutarties pavadinimas:</i> Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugyklos eksploatavimo nutraukimo projekto aprašo, kitų eksploatavimo nutraukimo licencijai gauti reikalingų dokumentų ir Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugyklos griovimo projekto parengimo paslaugos		<i>Sutarties Nr.:</i> LEI: S/14-1919.19.20 IAE: Pst-106 (13.67)	
<i>Anotacija:</i> Šioje ataskaitoje pateikiamas Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugyklos eksploatavimo nutraukimo radionuklidų išmetimo į aplinką planas (RIAP).			
<i>Reikšminiai žodžiai:</i> Radioaktyviųjų atliekų saugykla, eksploatavimo nutraukimas, radionuklidų išmetimas į aplinką, ribinis planuojamų išmesti radionuklidų aktyvumas			
<i>Ataskaita perduota:</i> VĮ Ignalinos atominė elektrinei, Branduolinės inžinerijos problemų laboratorijos saugyklai		<i>Saugojimo vieta ir bylos Nr.:</i> \\server\Biblioteka\Sutartiniai_darbai\Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo projektas\08 RIAP	
Branduolinės inžinerijos problemų laboratorija Lietuvos energetikos institutas Breslaujos g. 3 LT-44403, Kaunas		Telefonas: 8 37 401891 Faksas: 8 37 351271 E-paštas: Povilas.Poskas@lei.lt WWW: http://www.lei.lt	

Patikrinta:

Patvirtinta:

Branduolinės inžinerijos problemų
laboratorijos vadovas

Lietuvos energetikos
instituto direktorius

VERSIJŲ LENTELĖ

Versija	Leidimas	Data	Aprašymas
1	1	2019-11-15	Ataskaita skirta Užsakovo peržiūrai.
2	1	2019-12-16	Pagal Užsakovo pastabas patikslinta ataskaita. Skirta LR Sveikatos apsaugos ministerijos peržiūrai. Skirta VATESI peržiūrai.
3	1	2020-06-10	Pagal VATESI pastabas patikslinta ataskaita.
4	1	2020-09-01	Pagal VATESI pastabas patikslinta ataskaita.
4	2	2020-09-07	Pagal su VATESI suderintą MRAS eksploatavimo nutraukimo SAA patikslinta ataskaita

TURINYS

1	ĮVADAS.....	6
2	DARBUOTOJŲ ATSAKOMYBĖS PASKIRSTYMAS UŽTIKRINANT RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO KONTROLĘ	7
3	SUTRUMPINIMAI IR SĄVOKOS.....	8
4	RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO TAŠKAI, KELIAI, BŪDAI IR JŲ IŠDĖSTYMO SCHEMA	9
5	RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO KAITA.....	13
6	PLANUOJAMAS RADIONUKLIDŲ IŠMETIMAS Į APLINKOS ORĄ IR JŲ AKTYVUMAS	15
7	PLANUOJAMAS RADIONUKLIDŲ IŠMETIMAS Į APLINKOS VANDENĮ IR JŲ AKTYVUMAS	17
8	RADIACINĖS SAUGOS POŽIŪRIU PAVOJINGŲ RADIONUKLIDŲ PERNAŠOS KELIŲ ANALIZĖ	18
9	RIBINIS PLANUOJAMŲ IŠMESTI Į APLINKOS ORĄ RADIONUKLIDŲ AKTYVUMAS 19	
9.1	Reprezentantų apibūdinimas	19
9.2	Apšvitos keliai, kurie naudojami reprezentanto apšvitos vertinimui.....	19
9.3	Reprezentantų metinės efektinės dozės įvertinimas.....	20
9.4	Planuojamų išmesti į aplinkos orą radionuklidų ribinio aktyvumo įvertinimas	24
10	RIBINIS PLANUOJAMŲ IŠMESTI Į APLINKOS VANDENĮ RADIONUKLIDŲ AKTYVUMAS	29
11	APIBENDRINIMAS	30
12	NUORODOS	32

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

4-1 pav. Maišiagalos RAS aplinka.....	9
4-2 pav. Maišiagalos RAS aikštelė	10
4-3 pav. Maišiagalos RAS aikštelės šiaurinė dalis vykdant eksploataavimo nutraukimo darbus. Rodyklė rodo Kesono ventiliacijos kamino vietą.	12

LENTELIŲ SĄRAŠAS

5-1 lent. Radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą šaltiniai, jų apibūdinimas ir planuojama išmetimų trukmė [2].....	14
6-1 lent. Planuojami metiniai radionuklidų ir jų aktyvumo išmetimai į aplinkos orą iš atskirų šaltinių [2].....	15
6-2 lent. Planuojamas metinis radionuklidų ir jų aktyvumo išmetimas į aplinkos orą [2]	16
9-1 lent. Vertinami reprezentantai ir jų patiriamas radiologinio poveikio keliai [2]	20
9-2 lent. Vertinamų reprezentantų ir biosferos parametrai	21
9-3 lent. Reprezentantų metinė efektinė dozė dėl radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą	22
9-4 lent. Reprezentanto metinė efektinė dozė dėl tiesioginės ir išsklaidytos spinduliuotės šalia Maišiagalos RAS aikštelės [2]	23
9-5 lent. Reprezentantų bendra metinė efektinė dozė dėl Maišiagalos RAS eksploataavimo nutraukimo	24
9-6 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų dozės daugikliai atskiriems reprezentantams.....	25
9-7 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų ribinis aktyvumas atskiriems reprezentantams	26
9-8 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų ribinis aktyvumas.....	27
9-9 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų ribinis aktyvumas atskiroms radionuklidų grupėms.....	29
11-1 lent. Planuojami metiniai radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą	30
11-2 lent. Planuojami metiniai radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą ir jų ribinis aktyvumas radionuklidų grupėms	31

1 ĮVADAS

Branduolinės energetikos objektas Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugykla (toliau – Maišiagalos RAS) įrengta Širvintų raj., Bartkuškio miške, Žaliosios girininkijos 53 kvartale, apie 7 km į šiaurės vakarus nuo Maišiagalos miestelio ir apie 30 km ta pačia kryptimi nuo sostinės Vilniaus.

Nuo 1963 iki 1989 metų panaudoti uždarieji jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai (PUŠ) ir radioaktyviosios atliekos (RA) iš pramonės įmonių, sveikatos priežiūros įstaigų, mokslo įstaigų ir karinių dalinių buvo dedami į Maišiagalos RAS. Per tą laiką saugykloje buvo susikaupta apie 114 m³ smulkiųjų darytojų RA. 1989 m. saugykla buvo uždaryta ir užkonservuota.

2006 m. gerinant Maišiagalos RAS saugą buvo atnaujintas saugyklos kaupas, jame įrengtos dvi vandeniui nelaidžios membranos. Šie inžineriniai barjerai ženkliai pagerino saugyklos saugą, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje jie negali užtikrinti saugykloje esančių RA tinkamo izoliavimo nuo aplinkos. Visuomenės neigiamą požiūrį į saugyklą lemia tai, kad netoliese yra Bartkuškio telmologinis draustinis su Gerviraisčio pelke (Natūra 2000 objektas) ir Kernavės kultūrinis rezervatas (UNESCO pasaulio paveldo objektas). Siekiant panaikinti ateityje neišvengiamai didėsią radionuklidų sklaidos iš saugyklos riziką, pagerinti visuomenės požiūrį ir sumažinti saugyklos priežiūros bei inžinerinių barjerų atnaujinimo išlaidas, RA iš saugyklos turi būti išimtos. Siekiant užtikrinti aukšto lygio branduolinę ir radiacinę saugą ir aplinkos apsaugą tvarkant panaudotą branduolinį kurą ir radioaktyvias atliekas, LR Vyriausybės patvirtintoje Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtos programoje (antrojo programos uždavinio 5 priemonė) numatyta išimti RA iš Maišiagalos RAS ir perduoti jos teritoriją nekontroliuojamai naudoti. Išimtos RA bus tvarkomos Ignalinos AE RA tvarkymo įrenginiuose. Sutvarkytos RA bus sudėtos į atitinkamus, esamus ir planuojamus įrengti Lietuvoje, RA atliekynus.

Pasirengimas Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimui pradėtas 2011 m. RATA parengus Maišiagalos RAS preliminarų eksploatavimo nutraukimo planą bei jį suderinus su VATESI. 2016-2018 m. jungtinės veiklos pagrindu veikianti subjektų grupė LEI-UAB „Eksortus“ - UAB „Grotā“ parengė Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo poveikio aplinkai vertinimo (PAV) programą ir ataskaitą, teisės aktų nustatyta tvarka atliko planuojamos ūkinės veiklos PAV procedūrą. 2018 m. birželio 5 d. Aplinkos apsaugos agentūra raštu Nr. (30.1)-A4-5363 priėmė teigiamą sprendimą dėl Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo galimybių. Taip pat jungtinės veiklos pagrindu veikianti subjektų grupė parengė Maišiagalos RAS galutinį eksploatavimo nutraukimo planą (GENP), jį suderino su VATESI bei LR Energetikos ministerija. 2018 m. spalio 5 d. LR energetikos ministro įsakymu Nr. 1-272 GENP buvo patvirtintas.

Siekiant gauti VATESI išduodamą licenciją vykdyti branduolinės energetikos objekto eksploatavimo nutraukimą būtina parengti Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo projekto aprašą, Maišiagalos RAS griovimo projektą, Maišiagalos RAS saugos analizės ataskaitą (SAA), Radionuklidų išmetimo į aplinką planą (RIAP), Radiacinės saugos programą bei visus dokumentus suderinti su atitinkamomis institucijomis.

Šis RIAP parengtas vadovaujantis branduolinės saugos reikalavimais BSR-1.9.1-2017 „Radionuklidų išmetimo į aplinką iš branduolinės energetikos objektų normos ir reikalavimai radionuklidų išmetimo į aplinką planui“ [1] bei Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo darbus ir saugos sprendinius apibūrinančia Maišiagalos RAS SAA [2]. Šis dokumentas tikslina ir detalizuoja anksčiau parengtų GENP [3] sprendinius ir PAV vertinimus [4].

2 DARBUOTOJŲ ATSAKOMYBĖS PASKIRSTYMAS UŽTIKRINANT RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO KONTROLĘ

Radioaktyviųjų išmetimų kontrolės iš Maišiagalos RAS organizavimą užtikrina šio BEO eksploatavimą ir eksploatavimo nutraukimą vykdanti V. Į. Ignalinos AE.

Radioaktyviųjų išmetimų ekspozicinių oro filtrų mėginių surinkimą vykdo V. Į. Ignalinos AE Aplinkos stebėsenos laboratorijos personalas, vadovaudamasis patvirtinta V. Į. Ignalinos AE Radiologinio aplinkos monitoringo programa ir atitinkamomis darbo instrukcijomis.

Nuolat matuojamus išmetamo aktyvumo parametrus stebi ir, jei būtina, kontroliuoja Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo darbų pamainos personalas, vadovaudamasis atitinkamomis darbo instrukcijomis.

Surinktų mėginių laboratorinius matavimus atlieka akredituota V. Į. Ignalinos AE Aplinkos stebėsenos laboratorija. Ši laboratorija taip pat rengia ir teikia pranešimus bei kasmetines ataskaitas VATESI, Aplinkos apsaugos agentūrai ir Sveikatos apsaugos ministerijai, kaip tai numato galiojančių teisės aktų reikalavimai.

3 SUTRUMPINIMAI IR SAŲOKOS

AE	Atominė elektrinė
BEO	Branduolinės energetikos objektas
GENP	Galutinis eksploataavimo nutraukimo planas
LEI	Lietuvos energetikos institutas
LR	Lietuvos Respublika
NNL	Nesąlyginiai nebekontroliuojamieji radioaktyvumo lygiai
PAV	Poveikio aplinkai vertinimas
PUŠ	Panaudoti uždarieji jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai
RA	Radioaktyviosios atliekos
RAS	Radioaktyviųjų atliekų saugykla
RATA	Valstybės įmonė „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra“
RIAP	Radionuklidų išmetimo į aplinką planas
SAA	Saugos analizės ataskaita
TATENA	Tarptautinė atominės energijos agentūra
VATESI	Valstybinė atominės energetikos saugos inspekcija
Kesonas	virš Maišiagalos RAS rūsio pastatyta lengva inžinerinė konstrukcija, gaubianti jos viduje vykdomus darbus ir apsauganti nuo nekontroliuojamos oro tėkme pernešamos taršos sklaidos iš Kesono vidaus į aplinką.
Pirminis gaubtas	Kesono viduje virš RA rūsio įrengta papildoma lengva inžinerinė konstrukcija, gaubianti jos viduje vykdomus RA išėmimo iš rūsio darbus ir apsauganti nuo nekontroliuojamos oro tėkme pernešamos taršos sklaidos iš pirminio gaubto vidaus į aplinką ir nuo atsitiktinės oro tėkme pernešamos taršos sklaidos iš pirminio gaubto vidaus į Kesoną.

4 RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO TAŠKAI, KELIAI, BŪDAI IR JŲ IŠDĖSTYMO SCHEMA

Maišiagalos RAS aplinka parodyta 4-1 pav. Saugyklos aikštelė užima apie 2,7 ha plotą. Esami ir buvę radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginiai parodyti 4-2 pav. Maišiagalos RAS identifiukuoti [2] tokie radioaktyviosios taršos šaltiniai, kurie turės būti pašalinti atliekant eksploataavimo nutraukimo darbus:

- saugyklos rūsyje saugomos smulkiųjų darytojų RA bei kitos rūsyje esančios medžiagos;
- radionuklidais užteršta rūsio konstrukcija bei gruntas aplink ją;
- radionuklidais užterštos kitos konstrukcijos ar atskiri jų elementai:
 - buvęs skystųjų RA saugojimo rezervuaras;
 - buvusio dezaktyvacijos pastato užterštos grindys;
 - požeminė trasa, jungianti dezaktyvacijos pastatą su buvusiu skystųjų RA saugojimo rezervuaru,
- radionuklidu Ra-226 užterštas gruntas (taip vadinama B dėmė).



4-1 pav. Maišiagalos RAS aplinka



4-2 pav. Maišiagalos RAS aikštelė

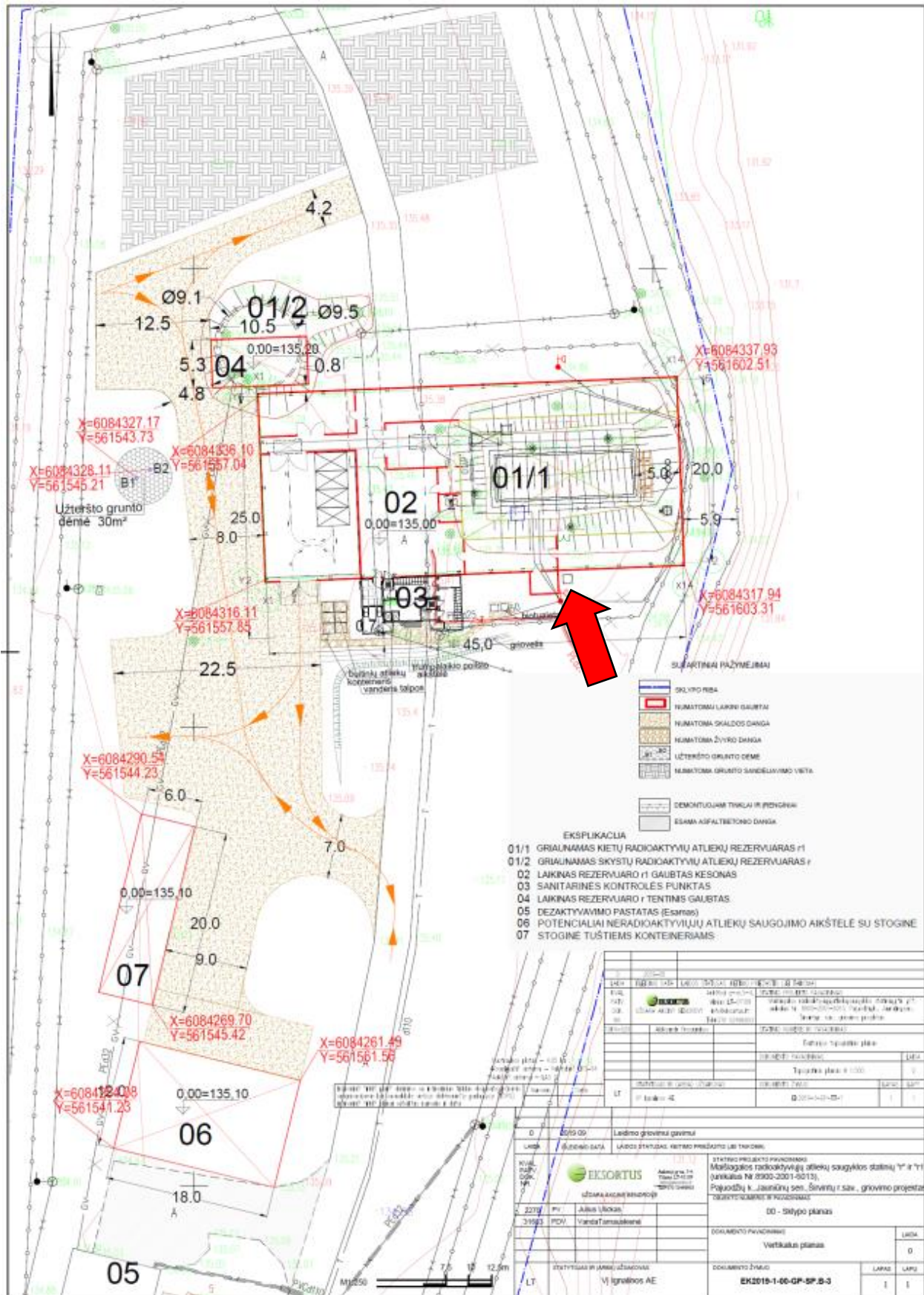
Vykdamas RA ir kitų medžiagų išėmimo iš saugyklos rūšio darbus gali susidaryti radioaktyvūs aerozoliai bei kietosios dalelės (dulkės), kurios, pernešamos oro srautu, galėtų pasklisti aplinkoje. Rūsyje gali būti radioaktyviųjų dujų, pvz. sklyant Ra-226 susidaro Rn-222. Tam, kad riboti ir

kontroliuoti radionuklidų sklaidą oro keliu, virš rūšio sumontuota uždara konstrukcija – Kesonas, žr. 4-3 pav. Kesono viduje įrengtas Pirminis gaubtas papildomai gaubia erdvę virš rūšio. Visi RA bei radionuklidais užterštų medžiagų išėmimo iš rūšio, preliminarus rūšiavimo ir sudėjimo į uždarus transportavimo konteinerius darbai bus vykdomi Kesone. Oro apykaitą Kesone užtikrina pritekamoji ir dvi atskiros ištraukiamosios (Kesono ir Pirminio gaubto) ventiliacijos sistemos. Sistemos Kesono ir Pirminio gaubto viduje sukuria sumažintą slėgį, taip sudarydamos dinaminį barjerą nekontroliuojamai taršos sklaidai į aplinką. Kontroliuojami išmetimai į aplinką filtruojami HEPA filtrais ir vykdomi per vieną bendrą Kesono ventiliacijos kaminą.

Išėmus RA iš rūšio ir dezaktyvavus (jei bus tikslinga) vidinius rūšio konstrukcijos paviršius, Pirminis gaubtas ir jo ventiliacijos sistema bus pašalintos. Tada bus išmontuota rūšio konstrukciją ir iškastas aplink ją esantis užterštas gruntas. Vykdam šiuos darbus kontroliuojami išmetimai į aplinką bus filtruojami Kesono ventiliacijos sistemos HEPA filtrais ir išmetami per Kesono ventiliacijos kaminą.

Įvertinamieji radiologiniai tyrimai rodo, kad dalies buvusio skystųjų RA rezervuaro vidinio paviršiaus (dugno ir apie 0,1 m aukščio šoninio paviršiaus) metalinės dangos radioaktyvioji tarša viršija NNL keliasdešimt kartų. Pjaustant ir išmontuojant metalinę dangą, gali susidaryti aerozoliai ir kietosios dalelės. Vykdam metalinės dangos šalinimo darbus, virš rezervuaro bus sumontuota palapinė, žr. 4-3 pav. Palapinėje bus įrengta darbuotojų persirengimo vieta ir sanitarinis šliuzas radiacinės taršos sklaidos kontrolei. Oro apykaitai ribotos erdvės darbo vietoje (požeminiame rezervuare) užtikrinti ir vietinės taršos surinkimui, bus naudojamas mobilus ventiliacijos įrenginys.

Kitų, Maišiagalos RAS teritorijoje esančių ir planuojamų išmontuoti bei pašalinti radionuklidais užterštų objektų radioaktyvioji tarša yra artima NNL [2]. Radionuklidų sklaida oro keliu ir galima aplinkos tarša vykdam šių objektų eksploatavimo nutraukimo darbus laikoma nereikšminga ir radionuklidų išmetimo į aplinką kontrolė neatliekama [2].



4-3 pav. Maišiagalos RAS aikštės šiaurinė dalis vykdant eksploataavimo nutraukimo darbus. Rodyklė rodo Kesono ventiliacijos kamino vietą.

5 RADIONUKLIDŲ IŠMETIMO KAITA

Planuojama, kad vykdant Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimą, radioaktyviosios medžiagos bus išimtos, supakuotos ir išvežtos į Ignalinos AE per tris vienas paskui kitą einančius metus, darbus vykdant šiltuoju metų laiku [2]. Atskirais metais bus atliekami skirtingi eksploatavimo nutraukimo darbai, bus tvarkomos skirtingos atliekos. Todėl atskirais metais į aplinką išmetamų radionuklidų sudėtis ir aktyvumas skirsis. Dėl veiklos ir veiklos organizavimo pobūdžio radioaktyvūs išmetimai į aplinkos orą bus netolygūs ir keisis:

- metų eigoje. Numatoma, kad RA išėmimo ir konstrukcijų demontavimo darbai vyks nuo balandžio pradžios mėn. iki lapkričio vidurio. Šaltuoju metų laiku rūšys bus uždengtas plokštėmis. Kesono ventiliacijos sistemos bus išjungtos arba veiks sumažintos traukos režimu arba bus įjungiamos periodiškai pagal poreikį;
- savaitės bėgyje. RA išėmimo ir konstrukcijų demontavimo darbai vyks darbo dienomis. Savaitgaliais ir švenčių dienomis darbai nevyks, ventiliacijos sistemos veiks sumažintos traukos režimu;
- dienos bėgyje. RA išėmimo ir konstrukcijų demontavimo darbai vyks dviem pamainomis, iki 16 valandų per parą. Pamainos metu ventiliacijos sistemos veiks normaliu režimu, šiuo metu numatomi didžiausi radionuklidų išmetimai į aplinkos orą. Pasibaigus abiem pamainoms, ventiliacijos sistemos bus perjungiamos į sumažintos traukos režimą.

Radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą šaltiniai, jų apibūdinimas ir planuojamos išmetimų trukmės apibendrinti 5-1 lent. Kaip matyti, pirmojo eksploatavimo nutraukimo darbų vykdymo sezono metu numatomas dujinio Rn-222 išmetimas. Reikšmingas kitų radionuklidų išmetimas, normalios eksploatacijos sąlygomis, mažai tikėtinas. Iš rūšio 6-os sekcijos išimamos medžiagos yra rūšio užpildai (smėlis, betonas), kurie gali būti užteršti tik dėl 5 – 1 sekcijose saugomų RA poveikio. Didžiausi radioaktyvieji išmetimai tikėtini antrąjį eksploatavimo nutraukimo darbų sezoną. Išmetimus daugumoje lemia RA išėmimo iš 5 – 1 sekcijų darbai, Dujinio Rn-222 išsiskyrimas vyksta nuo metų pradžios iki RA išėmimo iš rūšio pabaigos, t. y. kol išimamas ir išvežamas Rn-222 generavimo šaltinis – Ra-226 užterštos RA. Trečiojo eksploatavimo nutraukimo darbų sezono metu baigiami antrame sezone įpusėti rūšio struktūros išmontavimo darbai ir išmontuojama mažai užteršta buvusio skystųjų RA rezervuaro struktūra. Šio sezono išmetimai į aplinkos orą yra ženkliai mažesni už antrojo sezono išmetimus.

5-1 lent. Radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą šaltiniai, jų apibūdinimas ir planuojama išmetimų trukmė [2]

Darbu sezonas	Šaltinio ID	Radioaktyviųjų išmetimų ir juos lemiančių eksploatavimo nutraukimo darbų apibūdinimas	Išmetimų trukmė, k. d.
1	S1.1	Galimas trumpalaikis dujinio Rn-222 išmetimas atidarant arba išsandarinant rūšio perdangą	1
1	S1.2	Karštieji bandymai. 6-oje sekcijoje esančių medžiagų ir 3-jų didelio aktyvumo PUŠ išėmimas ir supakavimas išvežimui	48
1	S1.3	Pastovus dujinio Rn-222 išsiskyrimas iš rūšio, laikotarpis nuo rūšio atidarymo iki einamųjų metų pabaigos	105
2	S2.1	Pastovus dujinio Rn-222 išsiskyrimas iš rūšio, laikotarpis nuo metų pradžios iki RA iš rūšio išėmimo pabaigos	256
2	S2.2	RA ir medžiagų iš rūšio 5 – 1 sekcijų išėmimas ir supakavimas išvežimui	159
2	S2.3	Buvusio skystųjų RA rezervuaro vidinės dangos išmontavimas, vidinių paviršių dezaktyvavimas (jei reikės), pašalinimas ir supakavimas išvežimui	41
2	S2.4	Rūšio dezaktyvavimas (jei reikės). Užteršto grunto aplink rūšį iškasimas ir supakavimas išvežimui	27
3	S3.1	Užteršto grunto aplink rūšį iškasimas, rūšio struktūros išmontavimas, supakavimas išvežimui	25
3	S3.2	Buvusio skystųjų RA rezervuaro struktūros išmontavimas ir supakavimas išvežimui	11

6 PLANUOJAMAS RADIONUKLIDŲ IŠMETIMAS Į APLINKOS ORĄ IR JŲ AKTYVUMAS

Planuojami metiniai išmetimai iš atskirų šaltinių pateikti 6-1 lent. Planuojami metiniai išmetimai remiasi [2] įvertintais didžiausiais metiniais išmetimais, tikėtinais antraisiais Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo darbų vykdymo metais. Kitais metais radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą bus mažesni tiek radionuklidine sudėtimi, tiek išmetamu aktyvumu. Apskaičiuojant metinius radioaktyviuosius aerolinius išmetimus į aplinkos orą iš Kesono, šaltinių S2.2 ir S2.4 aktyvumas buvo vertintas [2] vienu bendru srautu, nedarant papildomų prielaidų apie galimą atskiro šaltinio dydį. Rūsio konstrukcijos ir grunto aplink ją taršą (t. y. šaltinį S2.4) sudaro iš rūsio difundavę radionuklidai. Tačiau jų kiekis ir pasiskirstymas nėra žinomi. Todėl konservatyviai priimta, kad bendras S2.2 ir S2.4 šaltinių aktyvumas atitinka galimai didžiausią RA (išskyrus PUŠ) aktyvumą rūsyje.

6-1 lent. Planuojami metiniai radionuklidų ir jų aktyvumo išmetimai į aplinkos orą iš atskirų šaltinių [2]

Radionuklidas	Šaltinis		
	S2.1	S2.2 ir S2.4	S2.3
	Aktyvumas, Bq		
H-3	-	3,8E+07	-
C-14	-	1,3E+05	-
Na-22	-	0,03	-
Cl-36	-	9,5E+02	-
Fe-55	-	0,02	-
Co-60	-	7,9	-
Ni-63	-	2,6E+04	-
Kr-85	-	90	-
Sr-90	-	6,9E+02	81
Sb-125	-	0,09	-
Cs-137	-	9,9E+02	53
Tl-204	-	0,4	-
Bi-207	-	0,3	-
Pb-210	-	5,1E+04	-
Po-210	-	5,0E+04	-
Rn-222	1,8E+12	-	-
Ra-226	-	8,1E+04	-
U-238	-	33	-
Pu-239	-	2,4E+02	-
Viso:	1,8E+12	3,9E+07	1,3E+02

Išmetimai iš šaltinių S2.1, S2.2 ir S2.4 bus vykdomi per Kesono ventiliacijos kamina, žr. 4-3 pav. Dėl mažo išmetamo aktyvumo, šaltinis S2.3, apskaičiuojant radiologinį poveikį bei ribinius išmetimus, apjungiamas ir toliau vertinamas kartu su S2.1 ir S2.4 šaltiniais. Planuojamas metinis radionuklidų ir jų aktyvumo išmetimas į aplinkos orą iš Kesono ventiliacijos kamino apibendrintas 6-2 lent.

6-2 lent. Planuojamas metinis radionuklidų ir jų aktyvumo išmetimas į aplinkos orą [2]

Radionuklidas	Aktyvumas, Bq
H-3	3,8E+07
C-14	1,3E+05
Na-22	0,03
Cl-36	9,5E+02
Fe-55	0,02
Co-60	7,9
Ni-63	2,6E+04
Kr-85	90
Sr-90	7,7E+02
Sb-125	0,09
Cs-137	1,0E+03
Tl-204	0,4
Bi-207	0,3
Pb-210	5,1E+04
Po-210	5,0E+04
Rn-222	1,8E+12
Ra-226	8,1E+04
U-238	33
Pu-239	2,4E+02
Viso:	1,8E+12

7 PLANUOJAMAS RADIONUKLIDŲ IŠMETIMAS Į APLINKOS VANDENĮ IR JŲ AKTYVUMAS

Radioaktyvieji išmetimai į aplinkos vandenį vykdant Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimą nenumatomi ir neplanuojami [2].

8 RADIACINĖS SAUGOS POŽIŪRIU PAVOJINGŲ RADIONUKLIDŲ PERNAŠOS KELIŲ ANALIZĖ

Išmesti į aplinkos orą radionuklidai, priklausomai nuo išmetimo savybių ir meteorologinių sąlygų, gali būti pernešami judančio oro srautu tolyn nuo išmetimo šaltinio, išsisklaidyti atmosferoje ir nusėsti ant žemės paviršiaus bei kitų žemės paviršių dengiančių objektų. Radiologinį poveikį gyventojui radioaktyviajame debesyje lemia išorinė (tiesioginė ir išsklaidyta) ir vidinė (įkvėpiant) apšvitos. Radionuklidams nusėdus, radiologinis poveikis taip pat gali apimti išorinę ir vidinę apšvitą. Vidinės apšvitos (dažniausiai radionuklidams patekus į žmogaus organizmą su maisto produktais) keliai gali būti įvairūs ir priklauso nuo gyventojų gyvenamosios vietos, gyvenimo būdo bei vartojamų maisto produktų.

2014-2016 metų duomenimis, Maišiagalos RAS aplinkoje vyravo pietvakarių, rytų ir pietryčių krypties vėjai [4]. Vėjo kryptis per parą keičiasi kelis kartus.

Radiologinis poveikis gyventojams dėl radionuklidų sklaidos oro keliu priklauso nuo sklaidos atstumo. Tolstant nuo išmetimų šaltinio radionuklidų sklaida aplinkoje didėja, radionuklidų koncentracijos ore ir ant žemės paviršiaus mažėja. Maišiagalos RAS yra Bartkuškio miške ir artimiausia saugyklos aplinka vertinama [4] kaip retai apgyvendinta vietovė, žr. 4-1 pav. Maždaug 1 km spinduliu aplink Maišiagalos RAS sodybų nėra. Artimiausi kaimai, esantys 2,5 km spindulio zonoje, – Pajuodžių ir Paversmės – negyvenami. Taigi, 2,5 km atstumu aplink Maišiagalos RAS nuolatinių gyventojų nėra. Nuolatinių gyventojų skaičius kaimuose, nutolusiuose nuo 3 km iki 5 km atstumu aplink Maišiagalos RAS kinta dažniausiai nuo kelių iki kelių dešimčių gyventojų. Artimiausios didesnės gyvenamosios vietovės yra Geisiškės kaimas (už 5 km pietvakarių kryptimi, 286 gyv.), Bartkuškio kaimas (už 6 km šiaurės kryptimi, 315 gyv.), Kernavės miestelis (6,5 km vakarų kryptimi, 272 gyv.), Maišiagalos miestelis (už 7 km pietryčių kryptimi, 1636 gyv.). Kernavės miestelis ir jo apylinkės yra gausiai lankomos turistų dėl ten esančio valstybinio Kernavės kultūrinio rezervato. Artimiausias miestas – Vilnius – yra už 30 km pietryčių kryptimi.

Nors 2,5 km atstumu apie saugyklą nuolatinių gyventojų nėra, į Bartkuškio mišką užsuka uogautojai, grybautojai, medžiotojai, miško priežiūros darbuotojai. Galimi miško lankytojai, kurie į Žaliosios giria atvažiuoja tiesiog pasivaikščioti.

Kitų radiacinės saugos požymių pavojingų radionuklidų pernašos šaltinių ir kelių, kuriais radionuklidai galėtų pasiekti Maišiagalos RAS aplinkoje gyvenančius gyventojus ir didinti jų apšvitos dozę, nėra.

9 RIBINIS PLANUOJAMŲ IŠMESTI Į APLINKOS ORĄ RADIONUKLIDŲ AKTYVUMAS

9.1 REPRESENTANTŲ APIBŪDINIMAS

Radiologinis poveikis dėl radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą vertinamas dviem iš trijų reprezentantų grupėms [2]:

- 1-oji reprezentantų grupė. Šios grupės nariai yra atsitiktiniai miško šalia Maišiagalos RAS lankytojai, renkantys ir / arba tik vartojantys miško gėrybes (grybus, uogas). Miško lankytojas patiria vidinę ir išorinę apšvitą dėl išmetamų į aplinkos orą radionuklidų bei išorinę apšvitą nuo Maišiagalos RAS aikštelėje tvarkomų RA. Išskiriamos dvi amžiaus grupės – suaugęs asmuo (reprezentantas 1.1) ir vienerių metų vaikas (reprezentantas 1.2). Priimama, kad vaikas dėl mažo amžiaus šalia Maišiagalos RAS nesilanko, tačiau patiria vidinę apšvitą valgydamas kai kurias suaugusio asmens surinktas miško gėrybes (miško uogas).
- 2-oji reprezentantų grupė. Šios grupės nariai yra nuolatiniai arčiausiai Maišiagalos RAS gyvenantys gyventojai, vedantys nedidelį ūkį ir vartojantys jame užaugintus maisto produktus. Gyventojas ūkyje patiria vidinę ir išorinę apšvitą dėl iš Maišiagalos RAS į aplinkos orą išmestų radionuklidų. Išskiriamos dvi amžiaus grupės – suaugęs asmuo (reprezentantas 2.1) ir vienerių metų vaikas (reprezentantas 2.2). Suaugęs asmuo taip pat gali lankytis miške greta Maišiagalos RAS aikštelės ir patiria tokia pat apšvitą, kokią patiria 1-os reprezentantų grupės suaugęs asmuo. Vaikas patiria vidinę apšvitą valgydamas kai kurias suaugusio asmens šalia Maišiagalos RAS surinktas miško gėrybes (miško uogas).

SAA [2] aprašomos trečios grupės reprezentantai į aplinką išmestų radionuklidų poveikio nepatiria, todėl nustatant ribinius išmetimus ši grupė RIAP nevertinama ir RIAP neaprašoma.

Vertinant atsitiktinio miško lankytojo elgseną priimta, kad reprezentantas šalia Maišiagalos RAS apylinkėse apsilanko vieną ar du kartus per savaitę miško gėrybių rinkimo sezono metu, viso apie 26 kartus. Priimta, kad renkant miško gėrybes šalia Maišiagalos RAS jis išbūna apie 1 valandą kiekvieno apsilankymo metu.

Vertinant nuolatinio gyventojų gyvenamą vietą priimta, kad ji nutolusi ne mažiau kaip 2000 m atstumu nuo išmetimų į aplinkos orą šaltinio. Prielaida yra konservatyvi, kadangi maždaug 2,5 km atstumu aplink Maišiagalos RAS nuolatinį gyventojų nėra.

9.2 APŠVITOS KELIAI, KURIE NAUDOJAMI REPRESENTANTO APŠVITOS VERTINIMUI

Reprezentantai ir patiriamo radiologinio poveikio keliai apibendrinti 9-3 lent.

9-1 lent. Vertinami reprezentantai ir jų patiriamo radiologinio poveikio keliai [2]

Poveikis			Reprezentantų grupės ir reprezentantai			
			1-oji		2-oji	
Kelias	Apšvitos vieta	Apšvitos tipas	1.1	1.2	2.1	2.2
Išmetimai į aplinkos orą	Šalia Maišiagalos RAS	Išorinė	+		+	
		Vidinė įkvepiant	+		+	
		Vidinė valgant	+	+	+	+
	Artimiausia gyvenama vietovė	Išorinė			+	+
		Vidinė įkvepiant			+	+
		Vidinė valgant			+	+
Tiesioginė ir išsklaidyta spinduliuotė	Šalia Maišiagalos RAS	Išorinė	+		+	

9.3 REPREZENTANTŲ METINĖS EFEKTINĖS DOZĖS ĮVERTINIMAS

Reprezentantų apšvita dėl į aplinkos orą išmetamų radionuklidų poveikio įvertinta [2] naudojant TATENA Saugos ataskaitų serijos Nr. 19 [6] rekomenduojamus modelius. Publikacijoje [6] pateikti radiologinio poveikio modeliai vertina visus pagrindinius Maišiagalos RAS aplinkai būdingus į orą išmestų radionuklidų sklaidos ir apšvitos kelius. Modeliais įvertinama:

- į aplinkos orą išmestų radionuklidų sklaida atmosferoje ir susidariusi radionuklidų koncentracija ore būdingose apšvitos vietose;
- radioaktyviajame debesyje patiriama išorinės apšvitos ir vidinės apšvitos, dėl įkvepiamo oro, metinė efektinė dozė;
- radionuklidų nusėdimas ant žemės paviršiaus ir dėl to patiriama išorinės apšvitos metinė efektinė dozė;
- radionuklidų nusėdimas ganykloje, radionuklidų sklaida ganyklų žolės – pašaro – pagrindinių gyvulinės kilmės maisto produktų (pieno, mėsos) keliu ir patiriama vidinės apšvitos, vartojant šiuos maisto produktus, metinė efektinė dozė;
- radionuklidų nusėdimas pasėlių laukuose, radionuklidų susikaupimas pagrindiniuose augalinės kilmės produktuose (vaisiai, daržovės, grūdinės kultūros, bulvės) ir patiriama vidinės apšvitos, vartojant šiuos maisto produktus, metinė efektinė dozė.

Apskaičiuojant radionuklidų sklaidą aplinkos ore naudojamos Maišiagalos RAS eksploatacijos nutraukimo techninius sprendinius atitinkančios išmetimo šaltinių parametrų reikšmės [2]. Vertinant vietinių gyventojų gyvenimo būdą ir maisto produktų vartojimą naudotos Lietuvai būdingos reikšmės [7, 8]. Miške renkamų produktų suvartojimas pasirinktas konservatyviai [4], taip pat atsižvelgiant į nusistovėjusią radiacinės saugos vertinimo praktiką [9]. Gyventojų įkvepiamas metinis oro tūris pasirinktas pagal TRSK Publikacijos Nr. 89 rekomendacijas [10]. Skaičiavimuose naudotų reprezentantų ir biosferos parametrai pateikti 9-2 lent.

9-2 lent. Vertinamų reprezentantų ir biosferos parametrai

Parametras	Reikšmė
Pasėlių apšvitos laikas (auginimo sezonas), d	60
Pašarų apšvitos laikas (auginimo sezonas), d	30
Laiko tarpas nuo pasėlių derliaus nuėmimo iki vartojimo, d	14
Laiko tarpas nuo pašarų derliaus nuėmimo iki vartojimo, kai pašarai sandėliuojami, d	90
Metų dalis, kurią gyvuliai ėda šviežią pašarą, -	0,7
Laiko tarpas nuo gyvulio paskerdimo iki mėsos vartojimo, d	20
Laiko tarpas nuo pieno primelžimo iki vartojimo, d	1
Mėsai skirtų galvijų (stambūs galvijai) pašarų suvartojimas, kg/d	12
Pieną duodančių galvijų (stambūs galvijai) pašarų suvartojimas, kg/d	16
Suaugusio žmogaus įkvepiamas oro tūris, m ³ /metus	8400
Vaiko (1 metų) įkvepiamas oro tūris m ³ /metus	1860
Suaugusio žmogaus augalinės kilmės produktų suvartojimas, kg/metus	251
Vaiko (1 metų) augalinės kilmės produktų suvartojimas kg/metus	159
Suaugusio žmogaus mėsos produktų suvartojimas, kg/metus	60
Vaiko (1 metų) mėsos produktų suvartojimas, kg/metus	24
Suaugusio žmogaus pieno suvartojimas, L/metus	52
Vaiko (1 metų) pieno suvartojimas, L/metus	103
Suaugusio žmogaus grybų suvartojimas, kg/metus	10
Suaugusio žmogaus miško uogų suvartojimas, kg/metus	10
Vaiko (1 metų) miško uogų suvartojimas, kg/metus	2

TATENA publikacijoje [6] nėra rekomendacijų Rn-222 radiologinio poveikio įvertinimui. Rn-222 lemta gyventojų apšvita įkvepiant apskaičiuota taikant JT mokslinio komiteto atominės spinduliuotės poveikiui tirti rekomenduojamą metodiką [11, 12].

Radioaktyviųjų išmetimų iš atskirų šaltinių į aplinkos orą lemtos reprezentantų apšvitos skaičiavimo rezultatai apibendrinti 9-3 lent. Kaip matyti, didžiausią apšvitą patiria suaugęs nuolatinis gyventojas (reprezentantas 2.1). Šio reprezentanto metinė efektinė dozė sudaro apie 6E-3 mSv. Dozė yra mažesnė už 10 μSv ir apšvita dėl radionuklidų išmetimo į aplinkos orą gali būti vertinama kaip mažai reikšminga. Radionuklidai, kurie apsprendžia visų reprezentantų apšvitą yra Ra-226 ir jo skilimo produktai Rn-222, Pb-210 ir Po-210. Konservatyviai vertinant Rn-222 emanaciją ir difuziją iš RA [2], Rn-222 išmetimas į aplinkos orą lemia apie 92-98% visų reprezentantų apskaičiuotos metinės efektinės dozės.

9-3 lent. Rerezentantų metinė efektinė dozė dėl radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą

Poveikis			Rerezentantų grupės ir reprezentantai			
			1-oji		2-oji	
Apšvitos atstumas, m	Išmetimų šaltinis	Apšvitos tipas	1.1	1.2	2.1	2.2
			Efektinė dozė, mSv			
100	S2.1	Išorinė debesyje	1,7E-08	-	1,7E-08	-
		Vidinė įkvepiant	1,3E-03	-	1,3E-03	-
		Viso:	1,3E-03	-	1,3E-03	-
	S2.2, S2.3, S2.4	Išorinė debesyje	5,5E-14	-	5,5E-14	-
		Išorinė nuo žemės	3,5E-08	-	3,5E-08	-
		Vidinė įkvepiant	2,7E-07	-	2,7E-07	-
		Vidinė valgant	1,0E-04	6,2E-05	1,0E-04	6,2E-05
Viso:	1,1E-04	6,2E-05	1,1E-04	6,2E-05		
2000	S2.1	Išorinė debesyje	-	-	5,7E-08	5,7E-08
		Vidinė įkvepiant	-	-	4,4E-03	4,4E-03
		Viso:	-	-	4,4E-03	4,4E-03
	S2.2, S2.3, S2.4	Išorinė debesyje	-	-	1,2E-13	1,2E-13
		Išorinė nuo žemės	-	-	1,7E-07	1,7E-07
		Vidinė įkvepiant	-	-	5,7E-07	3,9E-07
		Vidinė valgant	-	-	2,1E-05	8,4E-05
Viso:	-	-	2,2E-05	8,4E-05		
Visi	Visi	Viso:	1,4E-03	6,2E-05	5,8E-03	4,6E-03

Apskaičiuojant šalia Maišiagalos RAS aikštelės besilankančių rerezentantų išorinę apšvitą vertinami [2] tokie nuolatiniai (pasireikšiantys per visą eksploataavimo nutraukimo darbų sezoną) ir trumpalaikiai (pasireikšiantys atliekant atskirus, vienetinius darbus) jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai:

- atidarytas rūšys su jo viduje išimamomis ir pakuojamomis RA. Rūšyje esančios atliekos yra žemiau žemės paviršiaus lygio, tačiau apšvitą gali lemti aplinkos ore išsklaidyta jonizuojanti spinduliuotė. Dviem atskirais atvejais, kada rūšyje atidengiamos ir išimamos 15 l ir 10 l talpos su PUŠ, galimas trumpalaikis išsklaidytos ore spinduliuotės padidėjimas;
- Pirminiame gaubte saugomi du A tipo konteineriai su stambių gabaritų RA ir PUŠ (įprasta situacija);
- Pirminiame gaubte saugomi aštuoni A tipo konteineriai su stambių gabaritų RA ir PUŠ (konservatyvi, trumpalaikė situacija);
- Pirminiame gaubte tvarkomi iš rūšio iškelti padidintos jonizuojančiosios spinduliuotės objektai (15 l ir 10 l talpos su PUŠ, atskiri neutronų šaltiniai). Šie vienkartiniai darbai gali lemti trumpalaikį tiesioginės jonizuojančiosios spinduliuotės padidėjimą.

Tiesioginės spinduliuotės dozės galia įvertinta kompiuterine programa VISIPLAN [13]. Atmosferoje išsklaidytos spinduliuotės dozės galia įvertinta kompiuterine programa MICROSKYSHINE [14]. Apskaičiuojant tiesioginės ir atmosferoje išsklaidytos spinduliuotės dozės galias naudojamos Maišiagalos RAS eksploatacijos nutraukimo techninius sprendinius atitinkančios modeliavimo parametrų (planuojamų pakuočių tipai ir matmenys, užpildymas, tvarkymo įrenginių išdėstymas ir pan.) reikšmės [2].

Vertinant metinę rerezentantų 1.1 ir 2.1 apšvitą šalia Maišiagalos RAS priimta, kad jie visais atvejais lankosi rytinėje Maišiagalos aikštelės pusėje. Šiuo atveju atstumas iki apšvitos šaltinių yra

minimalus. Rezentanto metinės apšvitos nuo tiesioginės ir išsklaidytos spinduliuotės šaltinių Maišiagalos RAS aikštelėje skaičiavimo parametrai ir rezultatai apibendrinti 9-4 lent. Kai matyti, didžiausią apšvitą gali lemti trumpalaikiai RA tvarkymo atvejai, jų dozės dalis sudaro apie 80 % visos metinės apšvitos.

9-4 lent. Rezentanto metinė efektinė dozė dėl tiesioginės ir išsklaidytos spinduliuotės šalia Maišiagalos RAS aikštelės [2]

Spinduliuotės šaltinis	Apšvitos atstumas, m	Apšvitos trukmė, h	Dozės galia, mSv/h	Efektinė dozė, mSv
Atidarytas rūsys	20	24	5,1E-06	1,2E-04
Atidarytas rūsys su jo viduje atidengta 15 l talpa su PUŠ	20	1	1,4E-04	1,4E-04
Atidarytas rūsys su jo viduje atidengta 10 l talpa su PUŠ	20	1	1,4E-04	1,4E-04
Du A tipo konteineriai 101 patalpoje su stambių gabaritų RA ir stambių gabaritų PUŠ	50	25	1,1E-05	2,8E-04
Aštuoni A tipo konteineriai 101 patalpoje su stambių gabaritų RA ir stambių gabaritų PUŠ	50	1	9,0E-05	9,0E-05
Pirminiame gaubte tvarkoma iš rūšio iškelta 15 l talpa su PUŠ	20	1	4,4E-04	4,4E-04
Pirminiame gaubte tvarkoma iš rūšio iškelta 10 l talpa su PUŠ	20	1	4,4E-04	4,4E-04
Pirminiame gaubte tvarkomas iš rūšio iškeltas IBN-4 tipo neutronų šaltinis	20	1	2,4E-06	2,4E-06
Pirminiame gaubte tvarkomas iš rūšio iškeltas IBN-9 tipo neutronų šaltinis	20	1	9,9E-05	9,9E-05
Pirminiame gaubte tvarkomas iš rūšio iškeltas nežinomo tipo neutronų šaltinis	20	1	3,5E-04	3,5E-04
Viso:				2,1E-03

Visų vertintų šaltinių ir visų apšvitos kelių lemtos išorinės ir vidinės apšvitos metinės efektinės dozės skaičiavimo rezultatai atskiriems reprezentantams apibendrinti 9-5 lent. Lentelė apibendrina 9-3 ir 9-4 lent. pateiktus skaičiavimo rezultatus pagal 9-1 lent. pateiktus reprezentantų apšvitos kelius. Kaip matyti, didžiausią metinę apšvitą patiria suaugęs nuolatinis gyventojas (reprezentantas 2.1). Šio rezentanto metinė efektinė dozė sudaro apie 8E-3 mSv. Apskaičiuota dozė yra ženkliai mažesnė už LR Higienos normos HN 73:2018 [15] reikalavimais nustatytą apribotą metinę efektinę dozę gyventojams, patiriantiems apšvitą dėl radioaktyviųjų medžiagų išmetimo į aplinką iš BEO ir apšvitą, patiriamą tiesiogiai nuo BEO – 0,2 mSv.

Metinė efektinė dozė apskaičiuota antriesiems eksploatacijos nutraukimo darbų vykdymo metams. Šiais metais numatoma didžiausia rezentantų apšvita, kadangi bus tvarkoma dauguma ir didžiausios galios radioaktyviosios taršos ir jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių. Kitais metais rezentantų apšvita bus mažesnė, nei parodyta 9-5 lent.

9-5 lent. Rerezentantų bendra metinė efektinė dozė dėl Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo

Radiologinio poveikio šaltinis	Rerezentantų grupės ir reprezentantai			
	1-oji		2-oji	
	1.1	1.2	2.1	2.2
	Efektinė dozė, mSv			
Radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą	1,4E-03	6,2E-05	5,8E-03	4,6E-03
Tiesioginė ir išsklaidyta spinduliuotė šalia Maišiagalos RAS	2,1E-03	-	2,1E-03	-
Viso:	3,5E-03	6,2E-05	7,9E-03	4,6E-03

9.4 PLANUOJAMŲ IŠMESTI Į APLINKOS ORĄ RADIONUKLIDŲ RIBINIO AKTYVUMO ĮVERTINIMAS

Apskaičiuojant planuojamų išmesti į aplinką radionuklidų ribinio aktyvumo reikšmes turi būti užtikrinama [1], kad BEO eksploatavimo ir eksploatavimo nutraukimo metu esant normaliam BEO veiklos režimui ir įvykus tikėtiniems eksploatavimo įvykiams nebus viršijama reprezentanto apribotoji dozė. Ribinis aktyvumas nustatomas kiekvienam radiacinės saugos požiūriu pavojingam radionuklidui atskirai arba jų grupėms (pavyzdžiui, inertinėms radioaktyviosioms grupėms). Radionuklidų ribinio aktyvumo vertės apskaičiuojamos atsižvelgiant į vidinę (sąlygotą aplinkos ore esančių ir iškritusių ant žemės paviršiaus radionuklidų) ir išorinę (sąlygotą aplinkos ore esančių ir iškritusių ant žemės paviršiaus radionuklidų) apšvitos dozes bei į tai, kad radionuklidai išmetami į aplinkos orą ir vandenį.

Tais atvejais, kai iš to paties BEO į aplinką keliais būdais išmetami keli radionuklidai, jų poveikis turi būti vertinamas kartu ir turi atitikti sąlygą:

$$\sum_i \sum_j \frac{Q_{ij}^a}{A_{ij}} \leq 1$$

Čia:

Q_{ij}^a iš i -tojo šaltinio per metus į aplinkos orą ir vandenį išmestas j -tojo radionuklido aktyvumas (Bq/metus), A_{ij} – atitinkamo radionuklido ribinis aktyvumas (Bq/metus). Ši sąlyga taikoma radionuklidų srautams į aplinkos orą ir į vandenį atskirai.

Gyventojams, patiriantiems apšvitą dėl radioaktyviųjų medžiagų išmetimo į aplinką iš BEO ir apšvita, patiriamą tiesiogiai nuo BEO, apribotoji dozė (metinė efektinė dozė) yra 0,2 mSv [15].

Aukščiau aprašytus [1, 15] reikalavimus atskiram reprezentantui r ir vienam iš išmetimo būdų (šiuo atveju, vertinamiems išmetimams į aplinkos orą) galima apibendrinti tokia priklausomybe:

$$\sum_i \sum_j A_{ij}^r \times DCF_{ij}^r \leq E_{AD} - \sum_k E_k^r = E_{ADk}^r$$

Čia:

DCF_{ij}^r – reprezentanto r metinė efektinė dozė iš i -tojo šaltinio į aplinkos orą išmesto j -tojo radionuklido aktyvumo vienetui, mSv/ Bq, E_{AD} – apribotoji dozė (0,2 mSv), E_k^r – to paties reprezentanto kitais apšvitos keliais ir būdais k patiriama metinė efektinė dozė, mSv. Dozė E_{ADk}^r nusako apribotosios dozės dalį, kurią galima vertinti apskaičiuojant konkretaus išmetimo būdo ribinius išmetimus.

Apskaičiuojant planuojamų išmesti į aplinkos orą radionuklidų ribinio aktyvumo vertes vertinamas vienas apibendrintas išmetimų šaltinis (Kesonų ventiliacijos kaminais), $i = 1$. Taigi, kiekvienam reprezentantui turi būti tenkinama sąlyga:

$$\sum_j A_j^r \times DCF_j^r \leq E_{ADk}^r$$

Dozės daugikliai DCF_j^r atskiriems reprezentantams apskaičiuojami iš planuojamų metinių radionuklidų ir jų aktyvumų išmetimų į aplinkos orą (6-2 lent.) ir įvertintos reprezentantų metinės efektinės dozės dėl į aplinkos orą išmetamų radionuklidų (žr. 9-3 lent. apibendrintus rezultatus). Dozės daugikliai vertina visus į aplinkos orą išmestų radionuklidų sklaidos kelius ir apšvitos tipus. Dozės daugiklių skaičiavimo rezultatai pateikti 9-6 lent.

9-6 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų dozės daugikliai atskiriems reprezentantams

Radionuklidai	Reprezentantų grupės ir reprezentantai			
	1-oji		2-oji	
	1.1	1.2	2.1	2.2
	Dozės daugiklis, mSv/Bq			
H-3	1,8E-15	5,0E-16	2,3E-15	1,0E-15
C-14	1,2E-13	3,4E-14	1,6E-13	7,2E-14
Na-22	3,4E-12	1,8E-12	2,0E-11	5,8E-11
Cl-36	1,6E-12	1,1E-12	2,4E-12	4,7E-12
Fe-55	3,1E-13	2,2E-13	4,3E-13	6,7E-13
Co-60	3,7E-12	3,1E-12	8,2E-12	1,5E-11
Ni-63	1,5E-13	8,3E-14	3,5E-13	1,9E-12
Kr-85	1,9E-19	1,9E-19	6,1E-19	6,1E-19
Sr-90	2,8E-11	7,2E-12	3,5E-11	2,0E-11
Sb-125	1,1E-12	6,5E-13	1,8E-12	1,8E-12
Cs-137	1,2E-11	1,3E-12	1,8E-11	5,4E-12
Tl-204	1,5E-12	1,1E-12	2,0E-12	2,9E-12
Bi-207	1,6E-12	1,0E-12	3,6E-12	3,7E-12
Pb-210	6,4E-10	3,3E-10	7,6E-10	7,4E-10
Po-210	1,0E-09	7,5E-10	1,2E-09	1,8E-09
Rn-222	7,1E-16	0,0E+00	3,1E-15	2,4E-15
Ra-226	2,6E-10	9,1E-11	3,2E-10	2,2E-10
U-238	4,3E-11	1,2E-11	5,5E-11	2,9E-11
Pu-239	2,6E-10	4,8E-11	3,5E-10	1,1E-10

Reprezentantams 1.1 ir 2.1 vertinama apribotosios dozės dalis sumažinama dėl jų patiriamos tiesioginės apšvitos jiems būnant šalia Maišiagalos RAS aikštelės, kurioje vykdomi RA Maišiagalos RAS (9-5 lent.), t. y. jiems nustatoma $E_{ADk}^r = 0,1979 \text{ mSv}$. Reprezentantai 1.2 ir 2.2 reprezentantai papildomos apšvitos nepatiria, todėl jiems taikoma $E_{ADk}^r = 0,2 \text{ mSv}$.

Atsižvelgiant, kad radionuklidai išmetime pasiskirstę pagal tam tikrą proporciją:

$$A^r \times \sum_j NV_j \times DCF_j^r \leq E_{ADk}^r$$

Čia:

A^r - atskiram reprezentantui taikomas bendras ribinis aktyvumas, Bq. NV_j – atskiro radionuklido aktyvumo dalis bendrame išmetime į aplinkos orą. Ji apskaičiuojama iš planuojamų metinių radionuklidų ir jų aktyvumų išmetimų į aplinkos orą (6-2 lent.).

Galutinai, atskiram reprezentantui taikomas bendras ribinis aktyvumas apskaičiuojamas taip:

$$A^r \leq \frac{E_{ADk}^r}{\sum_j NV_j \times DCF_j^r}$$

Ir atskiro radionuklido ribinis aktyvumas:

$$A_j^r = A^r \times NV_j$$

Skaičiavimų rezultatai pateikti 9-7 lent.

9-7 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų ribinis aktyvumas atskiriems reprezentantams

Radionuklidai	Reprezentantų grupės ir reprezentantai			
	1-oji		2-oji	
	1.1	1.2	2.1	2.2
	Ribinis aktyvumas, Bq			
H-3	5,5E+09	1,2E+11	1,3E+09	1,7E+09
C-14	1,9E+07	4,3E+08	4,5E+06	5,8E+06
Na-22	4,0E+00	9,1E+01	9,6E-01	1,2E+00
Cl-36	1,4E+05	3,1E+06	3,2E+04	4,2E+04
Fe-55	2,7E+00	6,0E+01	6,3E-01	8,2E-01
Co-60	1,1E+03	2,5E+04	2,7E+02	3,5E+02
Ni-63	3,7E+06	8,4E+07	8,9E+05	1,1E+06
Kr-85	1,3E+04	2,9E+05	3,1E+03	3,9E+03
Sr-90	1,1E+05	2,5E+06	2,6E+04	3,4E+04
Sb-125	1,3E+01	3,0E+02	3,2E+00	4,1E+00
Cs-137	1,5E+05	3,4E+06	3,5E+04	4,6E+04
Tl-204	6,2E+01	1,4E+03	1,5E+01	1,9E+01
Bi-207	3,9E+01	8,8E+02	9,2E+00	1,2E+01
Pb-210	7,2E+06	1,6E+08	1,7E+06	2,2E+06
Po-210	7,1E+06	1,6E+08	1,7E+06	2,2E+06
Rn-222	2,6E+14	5,9E+15	6,2E+13	8,0E+13
Ra-226	1,2E+07	2,6E+08	2,8E+06	3,6E+06
U-238	4,6E+03	1,1E+05	1,1E+03	1,4E+03
Pu-239	3,4E+04	7,6E+05	8,0E+03	1,0E+04
Viso:	2,6E+14	5,9E+15	6,2E+13	8,0E+13

Vertinant visiems reprezentantams bendrą ribinį aktyvumą, taikoma papildoma sąlyga:

$$A_j = \min (A_j^r)$$

Ribinio aktyvumo skaičiavimų rezultatai pateikti 9-8 lent. Rerezentantas, kurio apšvita apsprendžia ribinio aktyvumo reikšmes išmetimuose į aplinkos orą yra 2-osios reprezentantų grupės suaugęs asmuo (reprezentantas 2.1).

9-8 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų ribinis aktyvumas

Radionuklidas	Ribinis aktyvumas, Bq
H-3	1,3E+09
C-14	4,5E+06
Na-22	9,6E-01
Cl-36	3,2E+04
Fe-55	6,3E-01
Co-60	2,7E+02
Ni-63	8,9E+05
Kr-85	3,1E+03
Sr-90	2,6E+04
Sb-125	3,2E+00
Cs-137	3,5E+04
Tl-204	1,5E+01
Bi-207	9,2E+00
Pb-210	1,7E+06
Po-210	1,7E+06
Rn-222	6,2E+13
Ra-226	2,8E+06
U-238	1,1E+03
Pu-239	8,0E+03
Viso:	6,2E+13

Siekiant supaprastinti išmetamų į aplinkos orą radionuklidų monitoringą ir kontrolę, radionuklidai gali būti grupuojami. Kai ribinis aktyvumas nustatomas radionuklidų grupei, turi būti taikomi radiacinės saugos požiūriu pavojingiausio radionuklido rodikliai [1]. Atsižvelgiant į išmetimų dydį (6-2 lent.), nustatytus ribinius išmetimus (9-8 lent.), atskirų radionuklidų radiologinį poveikį (9-6 lent.) bei planuojamą išmetimų monitoringą [2], išmetamus į aplinkos orą radionuklidus rekomenduojama grupuoti taip:

- radionuklidas Rn-222 negrupuojamas. Jam apskaičiuotas ribinis aktyvumas sudaro 6,2E+13 Bq (apie 99,998% nuo bendro ribinio išmetimo). Ribinio išmetimo lemta dozė sudaro 0,1934 mSv (apie 97,6% reprezentantu 2.1 nustatytos apribotosios dozės dalies dėl radioaktyviųjų išmetimų poveikio). Rn-222 tūrinis aktyvumas Kesono patalpose ir išmetimuose į aplinkos orą bus matuojamas atskirai [2];
- radionuklidas H-3 negrupuojamas. Šiam radionuklidui apskaičiuotas ribinis aktyvumas yra 1,3E+09 Bq (sudaro apie 0,002% nuo bendro ribinio išmetimo) ir yra antras pagal dydį atskiro radionuklido ribinis aktyvumas. H-3 ribinis išmetimas lemia labai mažą 3,0E-06 mSv metinę dozę. H-3 tūrinis aktyvumas išmetimuose į aplinkos orą bus matuojamas atskirai [2];

- alfa spinduliuotės grupė. Alfa spinduliuotę gali lemti alfa spinduliai (Po-210) ir alfa / gama spinduliai (Ra-226, Pu-239, U-238). Šiai grupei apskaičiuotas bendras ribinis aktyvumas sudaro $4,5E+06$ Bq ir yra ženkliai mažesnis už atskirų radionuklidų Rn-222 ir H-3 ribinius aktyvumus. Grupės bendras ribinis išmetimas lemia $3,4E-03$ mSv metinę dozę (apie 1,7% reprezentantui 2.1 nustatytos apribotosios dozės dalies dėl radioaktyviųjų išmetimų poveikio). Radiacinės saugos požiūriu pavojingiausiu šios grupės radionuklidu gali būti laikomas Po-210, jo dozės daugiklis yra didžiausias, žr. 9-6 lent. Alfa spinduliuotės tūrinis aktyvumas išmetimuose į aplinkos orą bus matuojamas atskirai [2];
- beta spinduliuotės grupė. Beta spinduliuotę gali lemti beta spinduliai (C-14, Cl-36, Ni-63, Kr-85, Sr-90, Tl-204) ir beta / gama spinduliai (Na-22, Co-60, Sb-125, Cs-137, Bi-207). Šiai grupei apskaičiuotas bendras ribinis aktyvumas sudaro $5,5E+06$ Bq ir yra ženkliai mažesnis už atskirų radionuklidų Rn-222 ir H-3 ribinius aktyvumus. Grupės bendras ribinis išmetimas lemia labai mažą $3,6E-06$ mSv metinę dozę. Radiacinės saugos požiūriu pavojingiausiu šios grupės radionuklidu gali būti laikomas Sr-90, jo dozės daugiklis yra didžiausias, žr. 9-6 lent. Beta spinduliuotės tūrinis aktyvumas išmetimuose į aplinkos orą bus matuojamas atskirai [2];
- gama spinduliuotės grupė. Gama spinduliuotę gali lemti gama spinduliai (Fe-55, Pb-210), alfa / gama spinduliai (Ra-226, Pu-239, U-238) ir beta / gama spinduliai (Na-22, Co-60, Sb-125, Cs-137, Bi-207). Šiai grupei apskaičiuotas bendras ribinis aktyvumas sudaro $4,5E+06$ Bq ir yra ženkliai mažesnis už atskirų radionuklidų Rn-222 ir H-3 ribinius aktyvumus. Grupės bendras ribinis išmetimas lemia $2,5E-03$ mSv metinę dozę (apie 1,2% reprezentantui 2.1 nustatytos apribotosios dozės dalies dėl radioaktyviųjų išmetimų poveikio). Radiacinės saugos požiūriu pavojingiausiu šios grupės radionuklidu gali būti laikomas Pb-210, jo dozės daugiklis yra didžiausias, žr. 9-6 lent. Gama spinduliuotės tūrinis aktyvumas išmetimuose į aplinkos orą bus vertinamas atskirai [2].

Radionuklido H-3, alfa, beta ir gama spinduliuočių grupių ribinių išmetimų lemtos dozės yra labai mažos ir praktiškai sunkiai kontroliuojamos. Ūkio subjektų aplinkos monitoringo nuostatai [16] numato, kad BEO radiologinis monitoringas turi būti atliekamas taikant tokius matavimo metodus ir naudojant tokius prietaisus, kad jie leistų pakankamai tiksliai išmatuoti atskirų izotopų radionuklidų aktyvumus, galinčius sąlygoti didesnes nei $0,01$ mSv per metus dozes. Todėl šioms radionuklidų grupėms tikslinga nustatyti ribinius aktyvumus, kurie lemtų bent $0,01$ mSv metinę efektinę dozę. Tuo pačiu, radionuklidui Rn-222 nustatytas ribinis aktyvumas turi būti sumažintas taip, kad nebūtų viršijama reprezentantui 2.1 nustatyta leistina apribotosios dozės dalis dėl radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą.

Ribinis aktyvumas atskirai grupei g apskaičiuojamas taip:

$$A_g^r = \frac{D_g^r}{\max(DCF_{j,g}^r)}$$

Čia: D_g^r – vertinamo reprezentanto r (reprezentanto 2.1) atskiros radionuklidų grupės g lemta dozė, mSv.

Ribinio aktyvumo skaičiavimo rezultatai radionuklidų grupėms pateikti 9-9 lent.

9-9 lent. Į aplinkos orą išmetamų radionuklidų ribinis aktyvumas atskiroms radionuklidų grupėms

Radionuklidas / Grupė	Ribinis aktyvumas, Bq
Rn-222	5,0E+13
H-3	4,4E+12
Alfa spinduliuotės	7,1E+06
Beta spinduliuotės	2,4E+08
Gama spinduliuotės	1,2E+07
Viso:	5,5E+13

10 RIBINIS PLANUOJAMŲ IŠMESTI Į APLINKOS VANDENĮ RADIONUKLIDŲ AKTYVUMAS

Radioaktyvieji išmetimai į aplinkos vandenį nenumatomi ir neplanuojami [2]. Ribiniai išmetimai į aplinkos vandenį nevertinami.

11 APIBENDRINIMAS

Maišiagalos RAS eksploatavimo nutraukimo metu bus išimtos ir išvežtos saugykloje saugomos RA, dezaktyvuoti ir išmontuoti kiti aikštelėje esantys radionuklidais užteršti objektai. Visos RA bus sudėtos į transportavimo konteinerius ir išvežtos tolimesniam tvarkymui į Ignalinos AE. Išimant, tvarkant ir sudedant į transportavimo konteinerius RA galimi radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą. Planuojami metiniai radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą apibendrinti 11-1 lent. Radionuklidai išrikiuoti aktyvumo mažėjimo tvarka. Planuojama, kad didžiausius išmetimus sudarys Rn-222 ir H-3. Kitų radionuklidų planuojami išmetimai bus ženkliai mažesni.

Siekiant supaprastinti išmetamų į aplinkos orą radionuklidų monitoringą ir kontrolę, radionuklidai yra grupuojami. Radionuklidui H-3, alfa, beta ir gama spinduliuočių grupėms ribiniai aktyvumai nustatyti priimant, kad atskiros grupės ribiniai išmetimai lemia 0,01 mSv metinę efektinę dozę. Atskirai vertinamo Rn-222 ribinis aktyvumas atitinkamai sumažintas taip, kad bendra ribinių išmetimų apšvita neviršytų reprezentantui nustatytos leistinos apribotosios dozės dalies dėl radioaktyviųjų išmetimų į aplinkos orą. Planuojami metiniai radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą ir ribinių aktyvumų įvertinimas atskiroms radionuklidų grupėms apibendrinti 11-2 lent. Planuojami Rn-222 išmetimai į aplinkos orą sudaro apie 3,6 % nuo šiam radionuklidui nustatyto ribinio aktyvumo.

Radioaktyvieji išmetimai į aplinkos vandenį nenumatomi ir neplanuojami.

11-1 lent. Planuojami metiniai radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą

Radionuklidas	Aktyvumas, Bq
Rn-222	1,8E+12
H-3	3,8E+07
C-14	1,3E+05
Ra-226	8,1E+04
Pb-210	5,1E+04
Po-210	5,0E+04
Ni-63	2,6E+04
Cs-137	1,0E+03
Cl-36	9,5E+02
Sr-90	7,7E+02
Pu-239	2,4E+02
Kr-85	90
U-238	33
Co-60	7,9
Tl-204	0,4
Bi-207	0,3
Sb-125	0,09
Na-22	0,03
Fe-55	0,02
Viso:	1,8E+12

11-2 lent. Planuojami metiniai radioaktyvieji išmetimai į aplinkos orą ir jų ribinis aktyvumas radionuklidų grupėms

Radionuklidas / Grupė	Planuojamas aktyvumas, Bq	Ribinis aktyvumas, Bq
Rn-222	1,8E+12	5,0E+13
H-3	3,8E+07	4,4E+12
Alfa spinduliuotės	1,3E+05	7,1E+06
Beta spinduliuotės	1,6E+05	2,4E+08
Gama spinduliuotės	1,3E+05	1,2E+07
Viso:	1,8E+12	5,5E+13

12 NUORODOS

1. Branduolinės saugos reikalavimai BSR-1.9.1-2017 „Radionuklidų išmetimo į aplinką iš branduolinės energetikos objektų normos ir reikalavimai radionuklidų išmetimo į aplinką planui“. Žin., 2011, Nr. 118-5599, TAR, 2017-10-31, Nr. 17207.
2. Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugyklos eksploatavimo nutraukimo saugos analizės ataskaita. LEI Branduolinės inžinerijos laboratorija. Kaunas, 2020. S/14-1919.19.20-SAA/V:03.02.
3. Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugyklos galutinis eksploatavimo nutraukimo planas. LEI, UAB „Eskortus“. Kaunas, 2018, S/14-1670.16.18-GENP:03.4.
4. Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugyklos eksploatavimo nutraukimas. Poveikio aplinkai vertinimo ataskaita. LEI Branduolinės inžinerijos problemų laboratorija. Kaunas, 2018, S/14-1670.16.18-PAVA:05.
5. Radiacinės saugos centro 2018 m. metinė ataskaita. Radiacinės saugos centras. Vilnius. 2019.
6. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. Safety Reports Series No. 19. IAEA, Vienna, 2001.
7. Barzda A., Bartkevičiūtė R., Baltušytė I., Stukas R., Bartkevičiūtė S. Suaugusių ir pagyvenusių Lietuvos gyventojų faktinės mitybos ir mitybos įpročių tyrimas. Visuomenės sveikata, 2016/1(72), psl. 85-94.
8. Bartkevičiūtė R., Barzda A., Baltušytė I., Stukas R., Bartkevičiūtė S. Ikimokyklinio amžiaus vaikų, nelankančių ikimokyklinio ugdymo įstaigų, mitybos ypatumai. Visuomenės sveikata, 2016/1(72), psl. 76-84.
9. 2018 m. maisto produktų, jų žaliavų, geriamo vandens (maisto krepšelio) ir gyventojų iš aplinkos gautų išorinės apšvitos dozių valstybinė radiologinė stebėseną. Radiacinės saugos centras, 2019.
10. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference values. ICRP Publication 89. Published by Elsevier Science Ltd., 2003.
11. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2016, Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York, 2017.
12. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2006, Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York, 2008.
13. Vermeersch. VISIPLAN 3D ALARA PLANNING TOOL. Training Guide. Exercises. Calculation Method & Validation Tests. SCK CEN, 2005.
14. MicroSkyshine Manual. User's Manual. Grove Engineering, 1987.
15. Lietuvos higienos norma HN 73:2018 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“. Žin. 2002, Nr. 11-388, TAR, 2018-08-21, Nr. 13208.
16. Ūkio subjektų aplinkos monitoringo nuostatai. Patvirtinti LR aplinkos ministro 2009 rugsėjo 16 d. įsakymu Nr. D1-546.