

Darbuotojų apšvitos dozių prognozavimas eksploatuojant trumpaamžių labai mažo aktyvumo atliekų laikinąją saugyklą

Ernestas Narkūnas,

Audrius Šimonis,

Raimondas Kilda,

Povilas Poškas

*Branduolinės inžinerijos
problemų laboratorija,
Lietuvos energetikos institutas,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: ernestas@mail.lei.lt*

2004 m. pabaigoje, galutinai sustabdžius 1-ąjį Ignalinos atominės elektrinės (AE) reaktorių, prasidėjo Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimo procesas. Vykdamas šį procesą tiek esamų, tiek jo vykdymo eigoje susidarysiančių trumpaamžių labai mažo aktyvumo atliekų (LMAA) palaidojimui bus įrengtas Landfill tipo paviršinis atliekynas (toliau tekste – LMAA atliekynas). Prieš šalinant atliekas jos bus kaupiamos laikinojoje saugykloje, kurios paskirtis – atliekų aktyvumo matavimas, jų kaupimas ir tarpinis saugojimas tarp šalinimo LMAA atliekyno moduliuose kampanijų.

Šiame straipsnyje yra pateikti apšvitos dozių prognostiniai vertinimai laikinosios saugyklos personalui, tiesiogiai dalyvaujančiam radioaktyviųjų atliekų pakuočių (RAP) tvarkymo procese. Apšvitos dozės personalui yra įvertintos tiek dėl tiesioginės apšvitos tvarkant RAP, tiek dėl apšvitos, kurią sukelia laikinosios saugyklos patalpų ore esantys radionuklidai.

Atlikti efektyvių dozių darbuotojams vertinimai parodė, kad bendra metinė apšvitos dozė nei vienam iš laikinosios saugyklos darbuotojų yra ne didesnė už teisės aktuose nustatytas ribines reikšmes. Nustatyta, jog didžiausią metinę apšvitos dozę dėl darbo specifikos gautų dozimetristas – ~9,79 mSv, o mažiausią – dozimetristo padėjėjas (~0,84 mSv). Taip pat parodyta, kad metinė apšvitos dozė dėl patalpų ore esančių radionuklidų (~1,24 × 10⁻⁴ mSv) yra nereikšminga, palyginti su efektine doze, gaunama dėl tiesioginės apšvitos tvarkant RAP.

Raktažodžiai: trumpaamžės labai mažo aktyvumo atliekos, laikinoji saugykla, dozės galių modeliavimas, darbuotojų apšvitos dozės

ĮVADAS

Vykdamas Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimą, remiantis Galutiniu Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimo planu, turi būti įrengtas Landfill tipo atliekynas (toliau tekste – LMAA atliekynas), skirtas trumpaamžėms labai mažo aktyvumo atliekoms (LMAA), susidarantioms AE eksploatacijos ir jos eksploatacijos nutraukimo metu, šalinti. Numatoma, kad atliekos bus šalinamos kampanijomis. Atliekos bus kaupiamos laikinojoje saugykloje, kurios paskirtis – atliekų aktyvumo matavimas, jų kaupimas ir tarpinis saugojimas tarp šalinimo LMAA atliekynų kampanijų, kurių vykdymas numatomas ne rečiau kaip kartą per

dvejus metus. Laikinojoje saugykloje bus galima patalpinti iki 4 000 m³ pakuočių su LMAA [1]. Šią saugyklą numatoma pradėti eksploatuoti 2011 m. Ji bus eksploatuojama apie 30 metų, t. y. iki ~2040 m. Pasibaigus Ignalinos AE pramoninėje aikštelėje esančių pastatų ir statinių dezaktyvavimo ir išmontavimo darbams, LMAA nebesusidarys, o laikinosios saugyklos eksploatacija bus nutraukta ir saugykla bus išmontuota.

Kadangi darbuotojų radiacinė sauga, tvarkant radioaktyvias atliekas (RA), yra vienas svarbiausių aspektų, todėl šiame straipsnyje kaip tik ir pristatomas jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozių prognostinis vertinimas darbuotojams, dirbantiems laikinojoje saugykloje.

LAIKINOSIOS SAUGYKLOS KONCEPCIJA IR RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ PAKUOTĖS

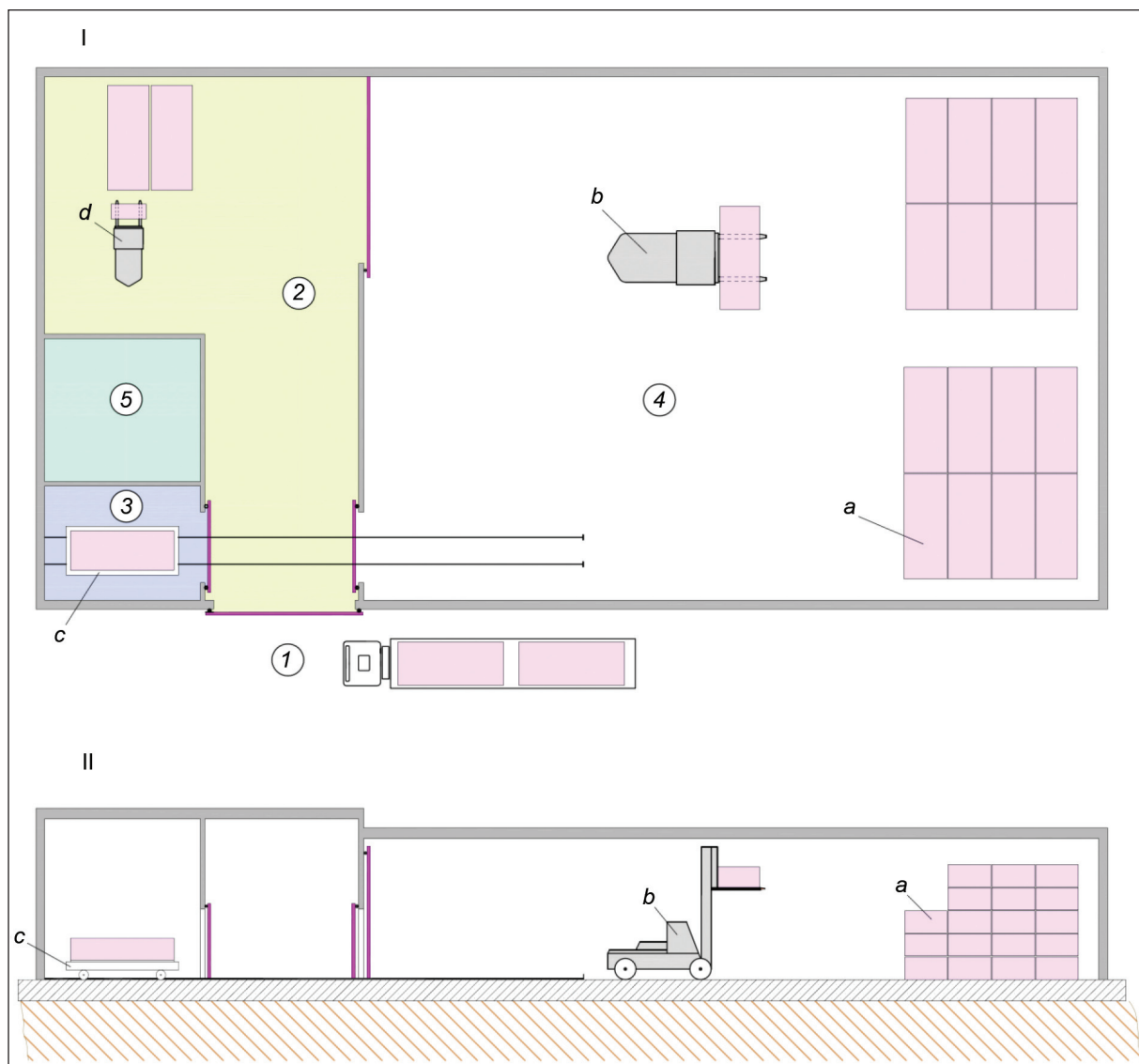
Laikinosios saugyklos pastatas – vieno aukšto, su antreso-
le, kurio išoriniai matmenys yra 60×30 m, o aukštis – per
8 m [1]. Kaip minėta, laikinojoje saugykloje turės tilpti apie
 4000 m^3 apdorotų ir supakuotų atliekų, kurios bus šalinamos
LMAA atliekyno moduluose.

Pagal atliekamas funkcijas laikinosios saugyklos patalpos
sąlyginai skirstomos į tokias zonas (1 pav.):

- A zona – RAP įvežimo kontrolės zona;
- B zona – RAP priėmimo ir laikino saugojimo matavimų
metu zona;
- C zona – RAP matavimo zona;

- D zona – RAP saugojimo zona;
- E zona – sanitarinių ir higienos patalpų zona;
- F zona – buities, administracinių ir kitų darbo patalpų
zona.

Kietosios radioaktyviosios atliekos, kurias numatoma lai-
kinai saugoti LMAA laikinojoje saugykloje, o po to pašalinti
LMAA atliekyno šalinimo moduluose, yra skirstomos į dvi
pagrindines grupes [1], t. y. eksploatavimo ir eksploatavimo
nutraukimo atliekas. Atsižvelgiant į Ignalinos AE taikomas
radioaktyviųjų atliekų apdorojimo priemones, kietosios eks-
ploataavimo ir eksploatavimo nutraukimo atliekos skirstomos
į degias ir nedegias atliekas. Prieš patekdamos į laikinąją
saugyklą, atliekos bus surūšiuotos pagal fizines, chemines ir
radiologines savybes.



1 pav. Laikinosios saugyklos konceptualus planas: vaizdas iš viršaus (I) ir iš šono (II). 1 – RAP įvežimo kontrolės zona (A zona) ir iškrovimo aikštelė; 2 – RAP priėmimo ir laikino saugojimo matavimų metu zona (B zona); 3 – RAP matavimo zona (C zona); 4 – RAP laikino (po matavimo) saugojimo zona (D zona); 5 – sanitarinių ir higienos patalpų zona (E zona) ir buities, administracinių ir kitų darbo patalpų zona (F zona); a – radioaktyviųjų atliekų pakuotės (RAP); b – didelės keliamosios galios autokrautuvas nedegių atliekų pakuočių transportavimui; c – bėginis transportavimo vežimėlis; d – mažos keliamosios galios autokrautuvas degių atliekų pakuočių (ryšulių) transportavimui

Nedegių RA transportavimui, saugojimui ir šalinimui bus naudojami pusės aukščio ISO konteineriai.

Degios RA bus supakuotos į plastikinius ryšulius (toliau degių radioaktyviųjų atliekų pakuotė – DRAP) ir transportuojamos standartiniuose ISO konteineriuose (iki 24 DRAP), pusės aukščio ISO konteineriuose (iki 12 DRAP), autotransporto kėbule arba tiesiog ant konteinerių autoplatformos, nenaudojant ISO konteinerių. DRAP bus saugomi LMAA laikinojoje saugykloje tik standartiniuose ISO konteineriuose.

Panaudotos jonų pakaitos dervos iš kondensato valymo sistemos bus supakuotos į armuoto plastiko konteinerius, kurių transportavimo, apibūdinimo ir saugojimo LMAA laikinojoje saugykloje operacijos bus tokios pat, kaip ir DRAP.

Pusės aukščio ISO ir standartinio ISO konteinerių pagrindiniai parametrai yra pateikti 1 lent.

Į laikinąją saugyklą atvežus pusės aukščio ISO konteinerius su kietosiomis RA, jos bus apibūdinamos (C zona, 1 pav.), po to pastarieji bus perkelti į saugojimo zoną D ir ten sukraunami į rietuves laikinam saugojimui.

Į laikinąją saugyklą atvežus DRAP ar panaudotų jonų pakaitos dervų pakuotes (nepaisant to, kaip jos bus atvežtos, t. y. ar ISO konteineriuose, ar ne juose) kiekviena pakuotė bus apibūdinama atskirai. Po to jos bus perkeltos į standartinius ISO konteinerius (iki 24 pakuočių konteineriuje), o šie bus perkelti į saugojimo zoną D ir ten sukraunami į rietuves laikinam saugojimui.

Visos transportavimo operacijos, susijusios su RAP gabenimu, laikinojoje saugykloje bus atliekamos naudojant du šakinius krautuvus, kurių keliamoji galia atitinkamai 25 t ir 1,5 t, bei bėginį perdavimo vežimėlį su elektros pavara

(1 pav.). Iš laikinosios saugyklos į LMAA atliekyno šalinimo modulius RAP bus pervežamos puspriekabėse su balniniu vilkiku.

MODELIAVIMO METODIKA IR PRIELAIIDOS

Šiame straipsnyje pateikti darbuotojų apšvitos dozių įvertinimo rezultatai normalios eksploatacijos metu. Dozės įvertintos tik tam personalui, kuris tiesiogiai dalyvauja RAP tvarkymo procese: eksploatacijos inžinieriui, dozimetristui, transporto technologinės įrangos operatoriui ir dozimetristo padėjėjui. 2 lent. pateiktas laikinosios saugyklos darbuotojų, kuriems atlikti dozės vertinimai, sąrašas ir jiems priskirtos pareigos.

Radiacinio poveikio šaltinius laikinojoje saugykloje normalios eksploatacijos metu galima išskirti į 2 grupes:

- RAP. Nuo šių šaltinių yra vertinama tiesioginė apšvita;
- Užterštame patalpų ore esantys radionuklidai (radioaktyviosios dulkės, aerosoliai ir kt.). Šiuo atveju yra vertinama apšvita dėl įkvėpimo ir išorinė apšvita.

Kiekvieno šių šaltinių sukeltos apšvitos dozės yra vertinamos atskirai pagal skirtingas metodikas, o bendra apšvitos dozė yra gaunama jas sudedant.

Darbuotojų dozės dėl tiesioginės jonizuojančiosios spinduliuotės

Darbuotojų dozių, kurias jie gauna dėl tiesioginės apšvitos nuo RAP, įvertinimui pirmiausia, tam tikromis kompiuterinėmis programomis, yra sumodeliuojamas spinduliuotės dozės galių pasiskirstymas darbuotojų darbo vietose. Tada, įvertinus atskiro darbuotojo darbo specifiką, t. y. žinant jo darbo vietas ir laiką, kurį jis praleidžia kiekvienoje iš jų, apskaičiuojama suminė dozė kiekvienam darbuotojui.

1 lentelė. Viso ir pusės aukščio plieninių ISO konteinerių pagrindiniai parametrai [1]

Konteinerio paskirtis	Nedegioms RA*	Degių RA ryšuliams**
Tipas	20 pėdų pusės aukščio ISO konteineris	20 pėdų ISO konteineris
Išoriniai matmenys	~6,06 × 2,44 × 1,30 m	~6,06 × 2,44 × 2,59 m
Vidiniai matmenys	~6,00 × 2,35 × 1,10 m	~5,84 × 2,35 × 2,39 m
Tuščio konteinerio svoris	2,245 t	2,472 t
RA svoris pakuotėje	~15 t (nedegios RA) ~10,8 t (degios RA)	~21,6 t (degios RA)

* – pusės aukščio ISO konteineris taip pat bus naudojamas ir iki 12 degių RA ryšulių ar panaudotų dervų konteinerių transportavimui į laikinąją saugyklą arba iš jos.

** – ISO konteineris bus naudojamas iki 24 degių RA ryšulių ar panaudotų dervų konteinerių transportavimui į laikinąją saugyklą arba iš jos ir saugojimui joje.

2 lentelė. Laikinosios saugyklos darbuotojai, kuriems atliktas apšvitos dozių vertinimas

Nr.	Tarnybinės pareigos	Darbuotojų skaičius	Darbo specifika
1	Eksploatacijos inžinierius	1	Technologinio proceso valdymas, eksploatavimo ir įrangos techninio aptarnavimo organizavimas
2	Dozimetristas	1	Dozimetriniai ir radiometriniai matavimai, ėminių ėmimas ir pristatymas matavimams
3	Transporto technologinės įrangos operatorius	1	Transportavimo technologinės operacijos (iškrovimas, pakrovimas, RAP pervežimas)
4	Dozimetristo padėjėjas	1	Radiometriniai ir spektrometriniai matavimai, apibūdinimo įrenginio eksploatavimas ir aptarnavimas. Bėginio vežimėlio valdymas

Kompiuterinė modeliavimo programa

Tiesioginės gama spinduliuotės dozės galių nuo RAP modeliavimui buvo naudojama kompiuterinė programa VISIPLAN 3D ALARA Planning tool [2]. Šia programa galima sumodeliuoti tiesioginės gama spinduliuotės dozės galių trimatėje erdvėje, esant tiek paprastai, tiek sudėtingai analizuojamos sistemos geometrinei konfigūracijai. Dozės galios nuo jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių nustatomos programoje padalijimo į taškinis šaltinius metodu (angl. *point-kernel*), įvertinant spinduliuotės kaupimo veiksnius (angl. *build-up factor*) ekranuojančiose medžiagose. Pagrindiniai programos įvesties duomenys: tai analizuojamos sistemos (radioaktyviųjų šaltinių, ekranuojančių barjerų ir t. t.) išsidėstymas, medžiagų sudėtis ir tankis, spinduliuotės šaltinio parametrai bei taškų, kuriuose norima įvertinti dozės galią, koordinatės. VISIPLAN 3D ALARA Planning tool programos validacija, pateikta [2], paremta palyginamaisiais skaičiavimais, atliktais pagal ANSI / ANS (JAV) standartą [3] bei 1-ąjį ESIS (Europa) uždavinį [4].

Skaitinio modelio sudarymas ir dozės galių modeliavimas

Vertinant tiesioginę darbuotojų apšvitą atsižvelgta į šiuos galimus apšvitos šaltinius:

- DRAP;
- Pusės aukščio ISO konteineris su 12 DRAP;
- Standartinis ISO konteineris su 24 DRAP;
- Pusės aukščio ISO konteineris su nedegiomis RA;
- Pusės aukščio ISO konteineriai su nedegiomis RA ir standartiniai ISO konteineriai su DRAP, sukrauti laikinosios saugyklos saugojimo zonoje D.

Kadangi plastikinių armuotų konteinerių su panaudotomis jonų pakaitos dervomis ir DRAP pagrindiniai parametrai (matmenys, RA svoris ir pakuotės medžiagos) yra labai panašūs, tai modeliavimas buvo atliktas tikrai DRAP, konservatyviai priimant, kad tie patys rezultatai galios ir panaudotų jonų pakaitos dervų pakuočių atveju.

Modeliavime aprašant DRAP, kurioje yra įvairiarūšių degių atliekų (popierius, mediena, drabužiai ir pan.), buvo parinkta ekvivalentinė atliekų medžiaga, o pati pakuotė – plastikinė plėvelė, į kurią yra suvyniotos atliekos, konservatyviai nevertinta. Tokiu būdu DRAP buvo aprašyta kaip stačiakampis gretasienis, kurio išoriniai matmenys yra $1,2 \times 1,1 \times 0,7$ m, o svoris – 0,9 t.

Aprašant pusės aukščio ir standartinius ISO konteinerius su atitinkamai 12 ir 24 DRAP bei pusės aukščio ISO konteinerių su nedegiom RA, buvo atsižvelgta ir į pačių konteinerių medžiagas. Išoriniai ir vidiniai šių konteinerių matmenys yra pateikti 1 lent., o ekvivalentinis plieno, iš kurio yra pagaminti konteineriai, tankis buvo apskaičiuotas atsižvelgus į pačių konteinerių svorius (1 lent.) ir konteinerių sienelių, dugno ir dangčių užimamus tūrius, kurie apskaičiuojami kaip konteinerių išorinių ir vidinių tūrių skirtumai. Šiuo atveju 12 ir 24 DRAP, esančios atitinkamai pusės aukščio ISO konteinerioje ir standartiniam ISO konteinerioje, buvo aprašytos kaip stačiakampiai gretasieniai, kurių matmenys atitinka konteinerių vidinius matmenis, o svoriai – 12 ir 24 DRAP svoriais (1 lent.). Kadangi didžiausią nedegių atliekų dalį sudaro metalo atliekos [1], tai nedegios atliekos, esančios pusės aukščio ISO konteinerioje, buvo homogenizuotos ir aprašytos kaip stačiakampis gretasienis iš plieno, kurio išoriniai matmenys atitinka pusės aukščio ISO konteinerio vidinius matmenis, o svoris – nedegių RA svorį konteinerioje (1 lent.).

Kiekvienos darbe nagrinėjamos pakuotės radioaktyviojo šaltinio aktyvumas buvo nustatytas pagal savitąjį RA aktyvumą ir RA svorį pakuotėje. Modeliuojant buvo naudotos maksimalios RA savitojo aktyvumo reikšmės, gautos pagal G1 bloko (turbinų salė) atliekų nuklidinį vektorių ir preliminarius atliekų priimtumo šalinti LMAA atliekyne kriterijus, pateiktus [1].

Modeliuojant laikinosios saugyklos saugojimo zonoje D esančius konteinerius, konservatyviai buvo priimta, kad joje yra sukrauti pusės aukščio ISO konteineriai su nedegiom RA. Pusės aukščio ISO konteinerio ir laikinosios saugyklos saugojimo zonoje D esančių konteinerių modeliai yra parodyti 2 pav.

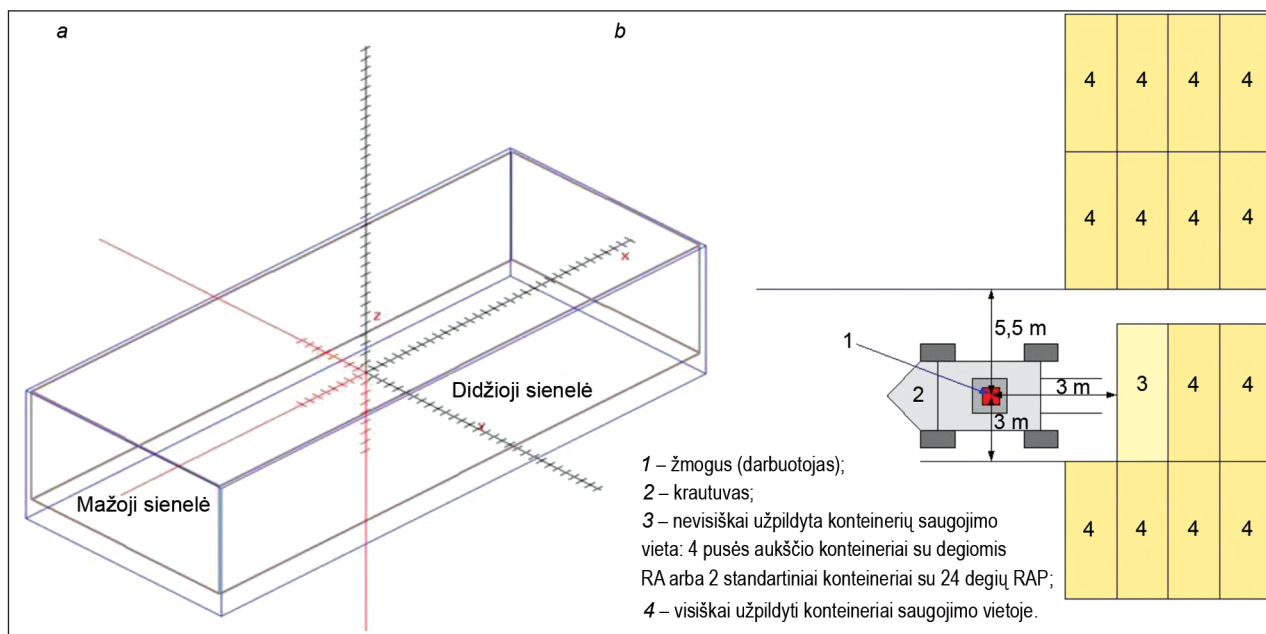
Aprašius nagrinėjamus apšvitos šaltinius, buvo sumodeliuotos dozės galių reikšmės įvairiose pozicijose ir atstumuose nuo šaltinių, nes, atsižvelgus į atliekamas operacijas, darbuotojo padėtis apšvitos šaltinio atžvilgiu būna skirtinga.

Dozių įvertinimas

Darbuotojų dozių, kurias jie gauna dėl tiesioginės apšvitos nuo RAP, įvertinimui panaudojamos sumodeliuotos dozės galios reikšmės darbuotojų darbo vietose. Tada, atsižvelgus į laiką, kuri darbuotojas praleidžia tam tikroje vietoje, yra apskaičiuojama efektinė dozė, kurią darbuotojas gauna būdamas konkrečioje darbo vietoje tam tikrą laiką. Kadangi kiekvienas darbuotojas atlieka skirtingus darbus, tai skiriasi ir jų darbo vieta RAP atžvilgiu, ir laikas, ir spinduliuotės šaltiniai, t. y. RAP. Pavyzdžiui, dozimetristo padėjėjas dirba tik prie pusės aukščio ISO konteinerio su nedegiomis RA ir prie atskiros DRAP, todėl jam yra vertinama apšvita tik nuo šių 2-ų šaltinių. Tuo tarpu transporto įrangos operatorius patiria apšvitą nuo visų pavienių RAP, t. y. DRAP, standartinio ISO konteinerio su 24 DRAP, pusės aukščio ISO konteinerio su 12 DRAP ir pusės aukščio ISO konteinerio su nedegiom RA bei papildomai gauna apšvitą nuo saugojimo zonoje D sukrautų konteinerių su RA, kai į ją atveža / iš jos išveža konteinerį.

Vertinant darbuotojų apšvitos dozes, buvo atsižvelgta į laikinosios saugyklos eksploatavimo metu vykdomas šias pagrindines operacijas:

- RAP transportavimas į laikinąją saugyklą;
- RAP priėmimas (įvežimo kontrolė A zonoje);
- RAP iškrovimas;
- RAP perkėlimas į matavimo kamerą (C zoną);
- RAP apibūdinimas, žymėjimas ir aprašymų išsaugojimas;
- RAP transportavimas po matavimo į laikiną saugojimo zoną D;
- Tuščio arba dalinai užpildyto pusės aukščio ISO konteinerio išvežimas iš laikinosios saugyklos;



2 pav. Spinduliuotės šaltiniai: a – pusės aukščio ISO konteineris; b – konteineriai laikinosios saugyklos saugojimo zonoje

- Tuščio standartinio ISO konteinerio tvarkymas;
- Laikinas atliekų saugojimas laikinosios saugyklos saugojimo zonoje B;
- Konteinerių su DRAP ir nedegiomis RA paėmimas iš laikinosios saugyklos ir jų transportavimas į LMAA atliekyno šalinimo modulius.

RAP bus šalinamos LMAA atliekyno moduliuose kampanijomis, taigi ir jų laikinas saugojimas laikinojoje saugykloje iki šalinimo bus vykdomas kampanijomis. Numatoma, kad viena laikinosios saugyklos darbo kampanija truks dvejus metus, o per ją į laikinąją saugyklą bus atvežta, laikinai saugota ir galutiniam šalinimui į LMAA atliekyno modulius išvežta 220 pusės aukščio ISO konteinerių, t. y. apie 4 000 m³ supakuotų RA [1]. Remiantis [1], apie 25 % visų LMAA atliekyno šalinamų RA sudarys degios RA. DRAP į laikinąją saugyklą daugiausiai bus pristatomos pusės aukščio ISO konteineriuose, po 12 DRAP kiekviename, o po apibūdinimo DRAP bus saugojamos standartiniuose ISO konteineriuose, po 24 DRAP kiekviename. Kadangi standartinio ISO konteinerio užimamas tūris praktiškai yra lygus dviejų pusės aukščio ISO konteinerių tūriui, tai per vieną kampaniją laikinoji saugykla bus užpildyta 160 pusės aukščio ISO konteinerių su nedegiomis RA ir 30 standartinių ISO konteinerių su degiomis RA. Tokiu būdu per vieną laikinosios saugyklos darbo kampaniją darbuotojų dozės lems:

- 160 pusės aukščio ISO konteinerių su nedegiom RA tvarkymas;
- 60 pusės aukščio ISO konteinerių su DRAP tvarkymas;
- 720 DRAP tvarkymas (iškrovimas iš pusės aukščio ISO konteinerių, apibūdinimas ir perkėlimas į standartinius ISO konteinerius);
- 30 standartinių ISO konteinerių su DRAP tvarkymas (po apibūdinimo).

Taigi pirmiausia yra įvertinama dozė, kurią gauna kiekvienas darbuotojas per vieną konkrečios RAP (DRAP, standartinio ISO konteinerio su 24 DRAP, pusės aukščio ISO konteinerio su 12 DRAP ir pusės aukščio ISO konteinerio su nedegiom RA) tvarkymo ciklą. Tuomet, gautą dozę padauginus iš tvarkomų pakuočių skaičiaus, apskaičiuojama darbuotojo dozė per vieną laikinosios saugyklos darbo kampaniją. Kadangi laikinosios saugyklos viena darbo kampanija trunka dvejus metus, tai vidutinės metinės dozės darbuotojams yra du kartus mažesnės, nei vienos kampanijos metu.

Radioaktyvaus patalpų oro dozės darbuotojams

Į laikinosios saugyklos patalpų orą patekusios radioaktyviosios medžiagos sukelia darbuotojų vidinę apšvitą, jas įkvėpus, ir išorinę apšvitą. Potencialus patalpų oro užteršimo šaltinis yra ant RAP, atvežamų į laikinąją saugyklą, paviršiaus esantys radionuklidai. Darbuotojo efektinė dozė dėl užteršto oro įkvėpimo ir išorinės apšvitos įvertinama naudojant (1) lygtį:

$$D = D_{inh,i} + D_{sub} = \sum_i^n (DCF_{inh,i} \cdot t_{inh} \times C_i \times INH) + \sum_i^n (DCF_{sub,i} \times t_{sub} \times C_i); \quad (1)$$

čia $D_{inh,i}$ ir $D_{sub,i}$ – dozės darbuotojui atitinkamai dėl patalpų ore esančio i -ojo radionuklido įkvėpimo ir išorinės apšvitos Sv;

$DCF_{inh,i}$ – darbuotojo efektinė dozė per kvėpavimo takus į kūną patekusio i -ojo radionuklido vienetiniam aktyvumui Sv/Bq [5];

$DCF_{sub,i}$ – darbuotojo efektinės dozės galia esant vienetiniam integruotam tūriniam i -ojo radionuklido aktyvumui ore (Sv/h)/(Bq/m³) [6];

t_{inh} – apšvitos trukmė įkvėpiant h;

t_{sub} – išorinės apšvitos trukmė h;
 C_i – i -ojo radionuklido vidutinis tūrinis aktyvumas užterštame ore Bq/m³;

INH – darbuotojo kvėpavimo greitis m³/h [7].

Vertinant radionuklidų vidutinį tūrinį aktyvumą laikinosios saugyklos patalpų ore, atsižvelgta į metines konkretaus radionuklido išlakas ir bendrą transportavimo koridoriaus bei konteinerių pakrovimo patalpų tūrį. Taip pat priimta, kad laikinojoje saugykloje veikianti ventilacijos sistema užtikrina 30 minučių oro kaitos greitį patalpose. Tuomet, įvertinus metinę oro kaitą, vidutinis i -ojo radionuklido tūrinis aktyvumas laikinosios saugyklos patalpų ore apskaičiuojamas taip:

$$C_i = Q_i / V; \tag{2}$$

čia Q_i – metinis i -ojo radionuklido, išmetamo į patalpų orą, aktyvumas Bq [1];

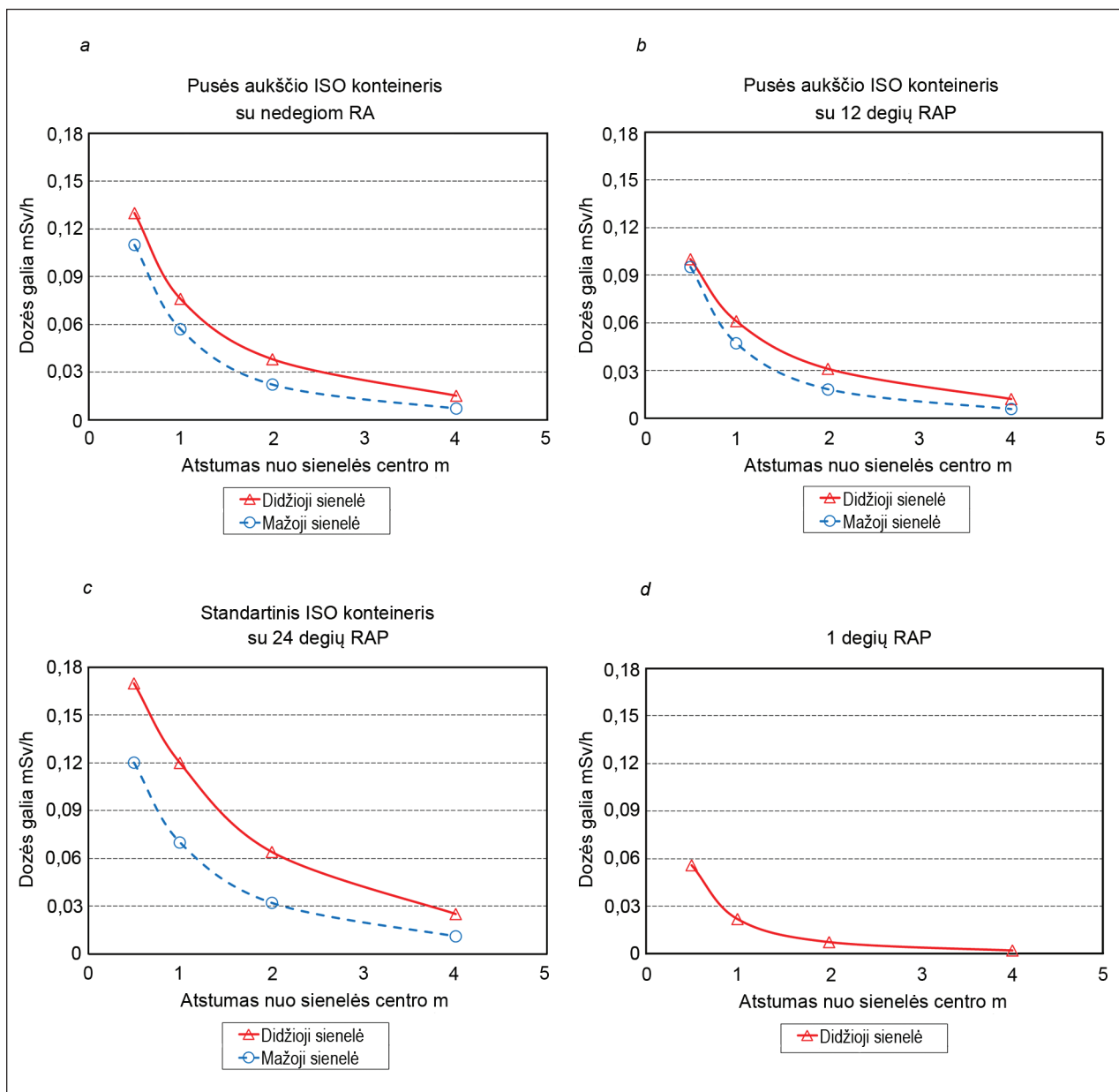
V – metinė oro kaita laikinosios saugyklos patalpose m³.

Atliekant dozės, kurią sukelia patalpų ore esantys radionuklidai, vertinimus konservatyviai priimta, kad visi darbuotojai tiek pat laiko dirba tokio pat užterštumo ore. Tokiu būdu įvertintos apšvitos dozės visiems darbuotojams bus vienodos, nepaisant jų darbo specifikos.

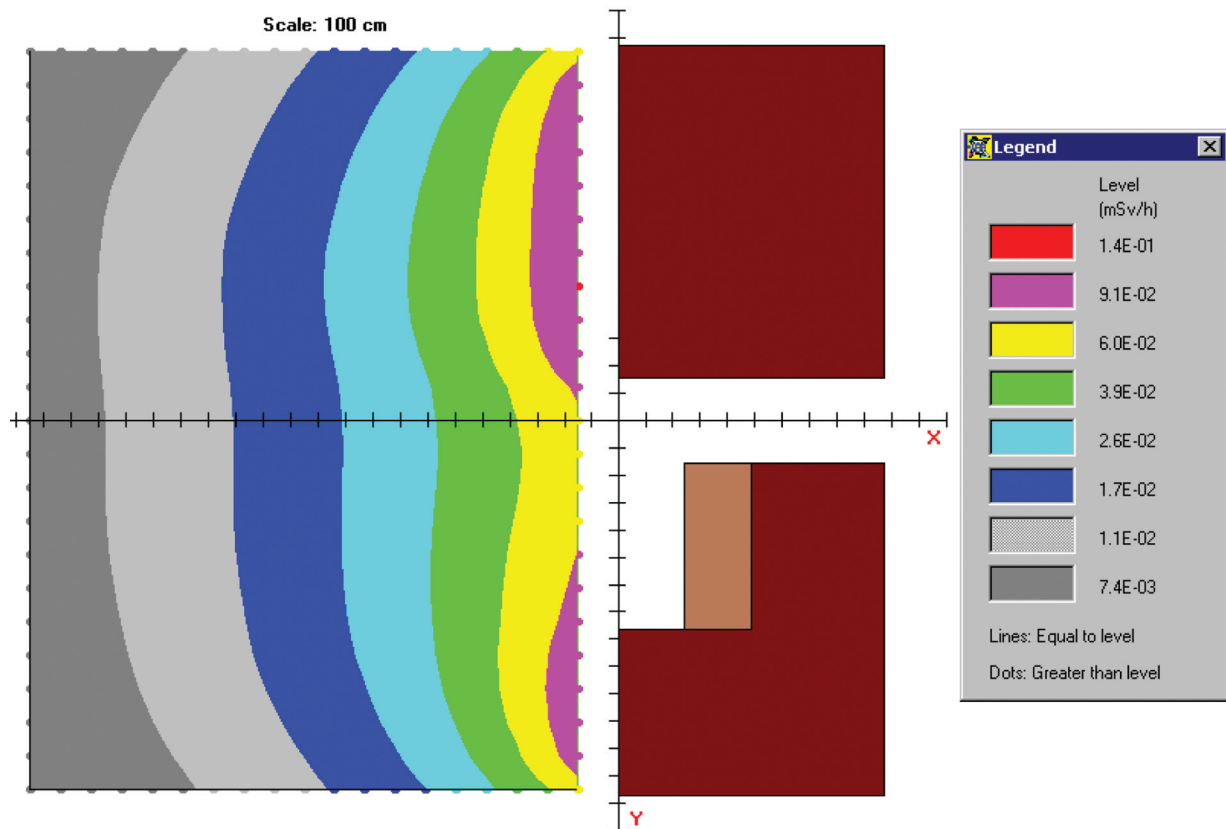
REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

Dozės darbuotojams dėl tiesioginės jonizuojančiosios spinduliuotės

Dozės galių modeliavimo rezultatai nuo atskirų straipsnyje nagrinėjamų RAP yra pavaizduoti 3 pav.



3 pav. RA pakuočių skleidžiamos apšvitos dozės galios



4 pav. Apšvitos dozės galios laikinosios saugyklos saugojimo zonoje

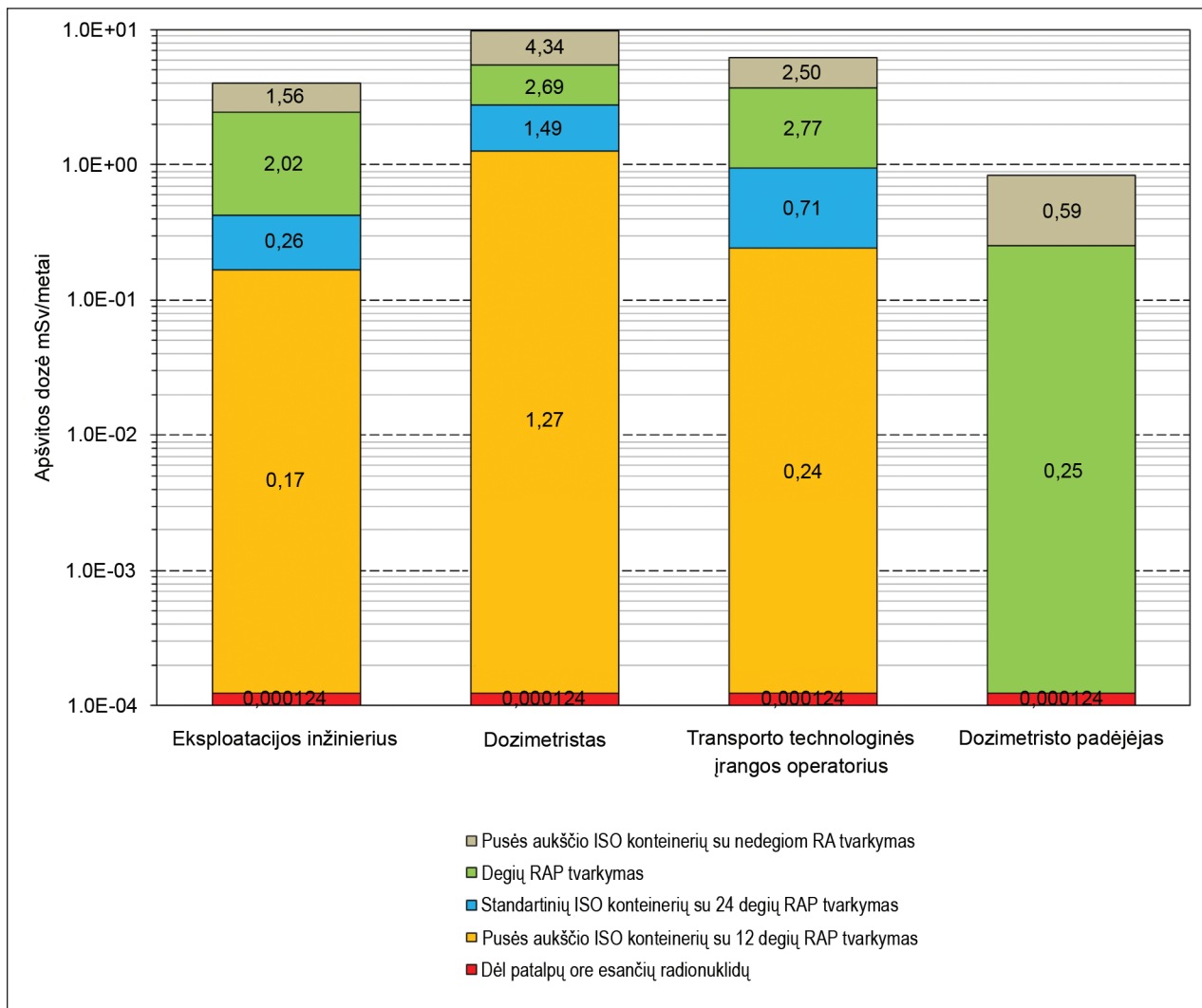
Iš pateiktų rezultatų matyti, jog didžiausią dozės galią sąlygoja standartinis ISO konteineris su jame esančiomis 24 DRAP, o mažiausią – viena DRAP. Palyginus pusės aukščio ISO konteinerių sąlygojamas dozės galias matyti, jog didesnės dozės galios gaunamos konteinerių užpildžius nedegiom RA. Taip pat matyti, jog, kaip ir buvo galima tikėtis, ties didžiosiomis ISO konteinerių sienelėmis gaunamos didesnės dozės galios, nei ties mažosiomis (DRAP pateiktos dozės galios tiksliai nuo didžiosios sienelės, nes mažoji sienelė yra neįdomiai trumpesnė, todėl dozės galia ties ja praktiškai tokia pati, kaip ties didžiąja).

4 pav. yra parodyti dozės galios modeliavimo rezultatai RA saugojimo zonoje D. Šios dozės galios naudojamos įvertinant dozes transporto technologinės įrangos operatoriui, kai jis į saugojimo zoną atveža arba iš jos išveža ISO konteinerius su RA.

Atsižvelgus į kiekvieno darbuotojo darbo specifiką (atliekamų užduočių kiekį ir trukmę bei darbuotoją veikiančius spinduliuotės šaltinius ir atstumą nuo jų, t. y. panaudojus 3 ir 4 pav. parodytus dozės galių modeliavimo rezultatus) buvo įvertintos dozės, kurias gauna kiekvienas darbuotojas, atlikdamas visą atitinkamos pakuotės tvarkymo ciklą nuo jos atvežimo į laikinąją saugyklą iki išvežimo į LMAA atliekyno šalinimo modulius. Dozės darbuotojams laikinosios saugyklos vienos darbo kampanijos metu bei metinės dozės darbuotojams buvo įvertintos pagal 3.1.3 poskyryje aprašytą metodiką ir yra parodytos 5 pav.

Iš 5 pav. pateiktų tiesioginės jonizuojančiosios spinduliuotės dozių vertinimo rezultatų matyti, jog didžiausią metinę apšvitos dozę – ~9,79 mSv iš laikinosios saugyklos personalo gauna dozimetristas, o mažiausią – ~0,84 mSv – dozimetristo padėjėjas. Tuo tarpu transporto technologinės įrangos operatorius ir eksploatacijos inžinierius gauna atitinkamai 6,22 mSv ir 4 mSv per metus. Tai, kad dozimetristas gauna didžiausią metinę dozę, daugiausiai nulemia jo buvimas arti apšvitos šaltinių (dozimetrinius matavimus jis atlieka būdamas šalia RAP) ir didelis kiekis atliekamų matavimų. O, pavyzdžiui, transporto operatorius darbo metu yra kur kas didesniu atstumu nutolęs nuo RAP, palyginus su dozimetristu. Iš 5 pav. rezultatų taip pat matyti, jog dozimetristo padėjėjas nedalyvauja standartinių ISO konteinerių su 24 DRAP ir pusės aukščio ISO konteinerių su 12 DRAP tvarkymo operacijose, todėl tai yra viena pagrindinių priežasčių, kodėl jo metinė dozė yra mažiausia.

Palyginus metines dozes, kurias sukelia degių ir nedegių RAP tvarkymas laikinojoje saugykloje, matyti, kad, nors degios RA sudaro tiksliai apie ~25 % visų tvarkomų RA tūrio, tačiau jų tvarkymo sąlygota dozė visiems darbuotojams, išskyrus dozimetristo padėjėją, yra didesnė nei nedegių RA atveju. Šį ypatumą lemia tai, jog tvarkant degias RAP atliekama daug daugiau operacijų, palyginus su nedegiom RA. Nedegios RA yra atvežamos pusės aukščio ISO konteineriuose, pamatuojamas jų aktyvumas ir jos perkeliamos į saugojimo zoną D, tuo tarpu degių RAP atvežamos po 12 DRAP



5 pav. Metinės apšvitės dozės darbuotojams

viename pusės aukščio ISO konteineryje, tada šis konteineris gabenamas į laikinąją saugojimo zoną B, ten kiekviena DRAP yra iškraunama, pamatuojamas jos aktyvumas, tada ji įkeliamą į standartinį ISO konteinerį ir, kai jame sukraunama 24 DRAP, konteineris perkeliamas į saugojimo zoną D. Su nedegiomis RA šios tvarkymo operacijos neatliekamos.

Radioaktyvaus patalpų oro dozės darbuotojams

Remiantis 3.2 poskyryje pateikta metodika ir pradiniais duomenimis, buvo įvertinta metinė darbuotojų apšvitės dozė, kurią sukelia užterštame patalpų ore esantys radionuklidai. Apskaičiuota vieno darbuotojo metinė efektinė dozė dėl radionuklidų įkvėpimo yra labai maža ir siekia $1,23 \times 10^{-4}$ mSv. Tuo tarpu vieno darbuotojo metinė efektinė dozė dėl ore esančių radionuklidų išorinės apšvitės yra dar mažesnė ir tesudaro $1,07 \times 10^{-6}$ mSv. Taigi ir suminė metinė efektinė darbuotojų dozė dėl radionuklidų įkvėpimo ir išorinės apšvitės yra maža ($\sim 1,24 \times 10^{-4}$ mSv), o ją nulemia apšvita dėl radionuklidų įkvėpimo.

Bendros dozės darbuotojams

Bendros dozės darbuotojams, gautos sudėjus metines dozes dėl radioaktyvaus patalpų oro ir dėl RAP tvarkymo, taip pat yra parodytos 5 pav.

Iš pateiktų rezultatų matyti, jog apšvitės dozė, kurią sukelia patalpų ore esantys radionuklidai, yra nereikšminga, palyginti su doze, gaunama dėl tiesioginės apšvitės, tvarkant RAP, ir praktiškai neturi įtakos bendrai dozei. Netgi dozimetristo padėjėjo atveju (jam tenkanti tiesioginės apšvitės dozė yra mažiausia iš visų straipsnyje analizuojamų darbuotojų), metinė dozė dėl radioaktyvaus patalpų oro yra $\sim 7 \times 10^3$ kartų mažesnė nei metinė dozė dėl tiesioginės apšvitės nuo RAP. Tuo tarpu dozimetristo, kuriam dozė dėl tiesioginės apšvitės yra didžiausia, atveju šis skirtumas yra dar didesnis ir siekia $\sim 8 \times 10^4$ kartų.

Lietuvos higienos normoje [5] yra nustatyta, kad didžiausia metinė dozė darbuotojui negali būti didesnė kaip 50 mSv, o maksimali dozė per 5 metus – 100 mSv. Tačiau dažnai darbuotojams yra taikoma 20 mSv per metus riba tam, kad darbuotojas galėtų ištaisai dirbti neviršydamas apribojimo,

taikomo dozei per 5 metus. Palyginus dozimetristo gaunamą metinę 9,79 mSv dozę (jo metinė dozė yra didžiausia iš visų analizuojamų darbuotojų) su 20 mSv riba matyti, jog ji sudaro apie 49 % šios ribos ir tik apie 20 % leistinos didžiausios metinės dozės. Taigi metinės darbuotojų dozės atitinka keliamus reikalavimus.

IŠVADOS

Šiame straipsnyje pateikti darbuotojų, dirbančių trumpaamžių labai mažo aktyvumo atliekų laikinojoje saugykloje, apšvitosis dozijų prognostiniai vertinimai parodė, jog bendra metinė apšvitosis dozė nei vienam iš darbuotojų neviršija teisės aktuose nustatytų ribinių reikšmių. Taip pat nustatyta, kad:

- Didžiausią metinę apšvitosis dozę iš laikinosios saugyklos personalo gauna dozimetristas, o mažiausią – dozimetristo padėjėjas (atitinkamai ~9,79 mSv ir ~0,84 mSv);
- Nors nedegios radioaktyviosios atliekos ir sudaro ~75 % visų supakuotų atliekų tūrio, dėl kur kas mažesnio tvarkymo operacijų skaičiaus, jų tvarkymas laikinojoje saugykloje lemia mažesnes metines darbuotojų dozes, palyginti su degių atliekų tvarkymu (išskyrus dozimetristo padėjėją dėl jo darbo specifikos);
- Metinė apšvitosis dozė darbuotojams dėl patalpų ore esančių radionuklidų siekia tikrai $\sim 1,24 \times 10^{-4}$ mSv ir yra nereikšminga, palyginti su doze, gaunama dėl tiesioginės apšvitosis, tvarkant radioaktyviųjų atliekų pakuotes.

Gauta 2010 11 20
Priimta 2011 05 25

Literatūra

1. Poveikio aplinkai vertinimo ataskaita. Trumpaamžių labai mažo aktyvumo atliekų kapinynas. 5 versija, 1 leidimas. S/14-PI.05.02.02.01.0001/EIAR-DRI/R:5, UAB „Specialus montažas – NTP“, Lietuvos energetikos institutas, 2009.
2. Vermeersch F. VISIPLAN 3D ALARA PLANNING TOOL. Training Guide. Exercises. *Calculation Method & Validation Tests*. SCK CEN, 2005.
3. *The Calculation and Measurement of Direct and Scattered Radiation from LWR Nuclear Power Plants*. ANSI / ANS 6.6.1, 1979.
4. Specification for gamma ray shielding benchmark applicable to a nuclear radwaste facility. *Newsletter #37*. European Shielding Information Service (ESIS), 1981.
5. Lietuvos higienos norma HN 73 : 2001 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“. Patvirtinta LR sveikatos apsaugos ministro 2001 12 21 įsakymu Nr. 663. *Valstybės žinios*. 2002. Nr. 11-388; 2003. Nr. 90-4080; 2011. Nr. 130-6193.
6. *External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil*. Federal Guidance Report No. 12. 1993.
7. Assessment of occupational exposure due to intakes of radionuclides. *IAEA Safety Standards Series Safety Guide No. RS-G-1.2*. ISBN 92-0-101999-8. 1999.

Ernestas Narkūnas, Audrius Šimonis, Raimondas Kilda, Povilas Poškas

PROGNOSTIC EVALUATION OF RADIATION DOSES FOR THE PERSONNEL DURING EXPLOITATION OF THE SHORT-LIVED VERY LOW LEVEL WASTE BUFFER STORAGE

Summary

The decommissioning process of the Ignalina NPP has started at the end of 2004, after the final shutdown of its First-Unit reactor. The near-surface landfill disposal facility will be constructed in order to dispose of the short-lived very low level waste (VLLW), both existing as well as arising in the course of the decommissioning process. Waste will be accumulated in a buffer storage before its disposal. The buffer storage is intended for waste activity measurements, accumulation and safe intermediate storage between campaigns of waste disposal in the disposal units of the landfill facility.

The paper presents an evaluation of prognostic radiation doses for the buffer storage personnel directly involved in the handling of radioactive waste packages. Radiation doses for the personnel are evaluated from direct radiation sources (radioactive waste packages during their handling processes) as well as from the radionuclides existing in the air of the buffer storage premises.

Assessment of radiation doses to the personnel has shown that the total annual radiation dose to a separate worker of the buffer storage does not exceed the limiting values established in normative documents. The highest annual dose was found to fall on the health physicist (~9.79 mSv) due to his work peculiarities, while the minimal dose is received by the health physicist assistant (~0.84 mSv). The annual radiation dose from the radionuclides existing in the air of the buffer storage premises is insignificant ($\sim 1.24 \times 10^{-4}$ mSv) as compared with the direct radiation dose from the radioactive waste packages during their handling processes.

Key words: short-lived very low level waste, buffer storage, dose rate modelling, doses to the workers

Эрнестас Наркунас, Аудриус Шимонис, Раймондас Килда,
Повилас Пошкас

ПРОГНОЗ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БУФЕРНОГО ХРАНИЛИЩА КОРОТКОЖИВУЩИХ ОЧЕНЬ НИЗКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Резюме

В конце 2004 г., после окончательного останова 1-ого реактора Игналинской атомной электростанции (АЭС), начался процесс снятия с эксплуатации Игналинской АЭС. При осуществлении данного процесса для захоронения существующих, а также образовавшихся во время выполнения процесса короткоживущих очень низкоактивных отходов (ОНАО) будет создан поверхностный могильник типа Landfill (могильник ОНАО). Перед захоронением отходов они будут храниться во временном хранилище, назначение которого – измерять активность отходов, их накопление и надежное промежуточное хранение в буферном хранилище между кампаниями захоронения в модулях могильника ОНАО.

В данной статье представлены прогнозируемые оценки для персонала буферного хранилища, непосредственно участвующего в процессе обращения с упаковками радиоактивных отходов (УРО). Дозы облучения на персонал оценены как вследствие прямого облучения при обращении с УРО, так и для облучения, которое вызывают радионуклиды, находящиеся в воздухе помещений временного хранилища.

Оценки доз, выполненные для работников, показали, что облучающая годовая доза облучения ни на одного работника временного хранилища не превышает установленных в правовых актах предельных значений. Установлено, что наибольшую годовую дозу облучения вследствие специфики работы получил бы дозиметрист (~9,79 мЗв), а наименьшую – ассистент дозиметриста (~0,84 мЗв). Также показано, что годовая доза облучения в результате присутствия радионуклидов в воздухе помещения (~ $1,24 \times 10^{-4}$ мЗв) незначительна по сравнению с дозой, получаемой вследствие прямого облучения при обработке УРО.

Ключевые слова: короткоживущие очень низкоактивные отходы, буферное хранилище, моделирование мощности доз, дозы для работников