

Jonizuojančiosios spinduliuotės laukų ir apšvitos dozių darbuotojams modeliavimas išmontuojant RBMK-1500 reaktoriaus avarinio aušinimo sistemą

1. Didelio skersmens vamzdžių išmontavimas

Audrius Šimonis,

Rimantas Zujus,

Povilas Poškas

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

Darbuotojų radiacinė sauga yra vienas svarbiausių veiksnių vykdant branduolinių įrenginių išmontavimo darbus. Norint pakankamai tiksliai įvertinti darbuotojų radiacinę saugą, būtina sumodeliuoti jonizuojančiosios spinduliuotės laukus, pasitelkiant šiuolaikines kompiuterines programas. Šiame darbe analizuojant darbuotojų apšvitos dozes įvertinant jonizuojančiosios spinduliuotės laukus, išmontuojant RBMK-1500 reaktoriaus avarinio aušinimo sistemą, modeliavimui buvo panaudota SCK CEN (Belgija) sukurta kompiuterinė programa „VISIPLAN 3D Alara Planning Tool“. Šios programos pagalba galima įvertinti gama spinduliuotės dozės galią nuo įvairių šaltinių trimatėje erdvėje, esant įvairiai ekranavimo geometrijai (struktūrai) bei ekrano medžiagoms. Programa naudojama projektuojant ekranuojančius barjerus gama spinduliuotei, įvertinant darbuotojų gaunamas ir numatomas gauti sukauptąsias efektines dozes vykdant branduolinių įrenginių eksploataciją, remonto, išmontavimo darbus ir kt.

Šiame darbe atlikti darbuotojų apšvitos dozių vertinimai išmontuojant RBMK reaktoriaus avarinio aušinimo sistemos vamzdžių dalį. Taip pat buvo atliktas darbuotojų, vykdančių išmontavimo darbus, sukauptosios efektinės dozės optimizavimas (Alara principo taikymas). Iš gautų rezultatų galima teigti, kad darbuotojų kolektyvinę dozę būtų įmanoma sumažinti iki $1,54E-01$ žm.-mSv, t. y. apie 10 %.

Raktažodžiai: RBMK-1500 reaktoriaus sistemų išmontavimas, reaktoriaus avarinė aušinimo sistema, didelio skersmens vamzdžių išmontavimas, dozių darbuotojams modeliavimas ir optimizavimas

1. ĮVADAS

Lietuvoje yra tik viena atominė elektrinė – Ignalinos atominė elektrinė (AE). Elektrinėje sumontuoti du kanalinio tipo RBMK-1500 reaktoriai, kurių kiekvieno elektrinė galia 1500 MW, o šiluminė – 4800 MW. Pirmasis elektrinės blokas pradėjo veikti 1983 m. pabaigoje, antrasis – 1987 m. viduryje. Statant elektrinę buvo planuota ją eksploatuoti iki 2010–2015 m., tačiau 2002 m. spalį Lietuvos Respublikos Seimas patvirtino Nacionalinės energetikos strategiją [1], kurioje buvo numatyta Ignalinos AE 1-ąjį bloką eksploatuoti iki 2005 m., o 2-ąjį bloką – iki 2010 m. Pirmasis Ignalinos AE reaktorius buvo sustabdytas 2004 m. gruodžio 31 d. 2002 m. lapkričio 26 d. nutarimu Nr. 1848 [2] Lietuvos Respublikos Vyriausybė nutarė, kad nesuke-

liant sunkių ilgalaikių socialinių, ekonominių, finansinių ir aplinkosauginių padarinių, Ignalinos atominės elektrinės pirmojo bloko eksploatavimo nutraukimą vykdyti nedelsino išmontavimo būdu.

Atominės elektrinės išmontavimas – tai naujas jos gyvavimo ciklo etapas, kuris nuo atominės elektrinės statybos projektavimo ar eksploatavimo etapų skiriasi savo trukme, planavimo, apšvitos nuo jonizuojančiosios spinduliuotės, radioaktyviųjų atliekų tvarkymo mastais ir kt. [3].

Uždarius pirmąjį Ignalinos AE reaktorių, avarinio aušinimo sistemos (RAAS) didelio slėgio hidroakumulaciniai balionai, didelio skersmens vamzdžiai, greito veikimo sklendės ir helio balionų rampa bei kita įranga, esanti 117/1 pastate, tapo nebereikalinga sustabdyto reaktoriaus saugai užtikrinti, todėl gali būti išmontuojama.

Yra žinoma, kad Ignalinos AE 117/1 pastate kai kurių jame esančių komponentų (RAAS hidroakumuliacinių balionų, greito veikimo sklendžių bei didelio skersmens vamzdynų) vidinis paviršius yra užterštas. Užteršimas įvyko dėl sąlyčio su radioaktyviu vandeniu.

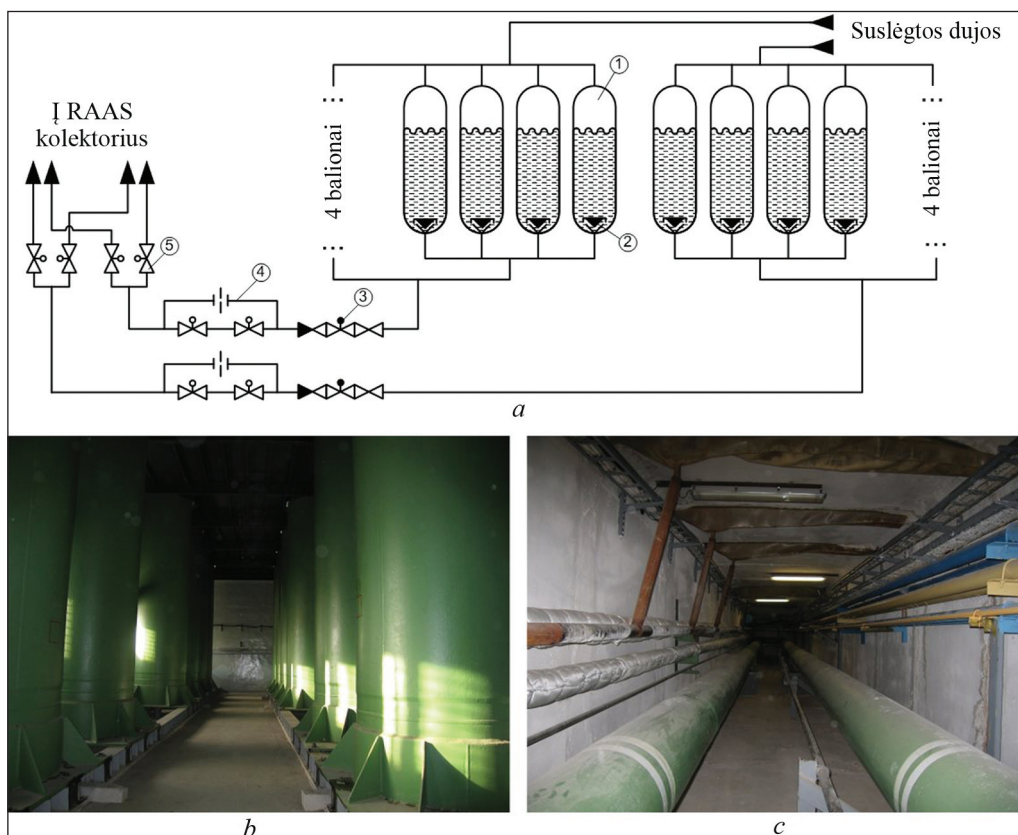
Šiame straipsnyje nagrinėjamas tik įrangos dalies, esančios 117/1 pastate, išmontavimas, t. y. didelio skersmens RAAS vamzdžių, kurie eina link reaktoriaus bloko, išmontavimas, įvertinant darbuotojų, atliekančių išmontavimo darbus, individualias bei kolektyvines dozes ir parenkant optimaliausią išmontavimo strategiją (taikant radiacinės saugos optimizavimą, t. y. Alara principą). Radiacinės saugos optimizavimas apima apšvitos mažinimą tiek, kiek tai įmanoma, atsižvelgiant į ekonominius ir socialinius veiksnius, siekiant pasiekti toleruotiną rizikos laipsnį [3]. Lietuvos Respublikos teisės aktai, tokie kaip HN 87 : 2002 [4], reikalauja vykdyti branduolinės energetikos objektuose darbuotojų saugą taip, kad individualiosios dozės, apšvitintų žmonių skaičius ir nepagrįstos apšvitos tikimybė būtų kuo mažesnė.

117/1 pastatas yra pirmasis Ignalinos AE pastatas, kuriam planuojama išmontuoti jame esančią įrangą. Taigi šiame straipsnyje pateikti apšvitos dozių darbuotojams modeliavimo metodika ir rezultatai yra labai svarbūs planuojant įrangos, esančios kituose pastatuose, radiologinio užterštumo įvertinimo bei jos išmontavimo metodus.

2. REAKTORIAUS AVARINIO AUŠINIMO SISTEMA

RAAS aušina aktyviąją zoną, kai trūksta priverstinės cirkuliacijos kontūro (PCK) vamzdynai arba sugenda įvairūs reguliavimo bei valdymo įrenginiai. Ši sistema projektuota taip, kad sureaguoja greičiau negu dėl avarijos perkaista šilumą išskiriančių elementų rinklės. RAAS susideda iš dviejų posistemų: trumpalaikio veikimo ir ilgalaikio aušinimo. Trumpalaikio veikimo posistemėje yra trys nepriklausomi ataušinto vandens tekėjimo į reaktorių kanalai. Du kanalai naudoja hidroakumulacinius mazgus, o trečiasis – maitinimo siurblius. Hidroakumulacinius mazgus (1 pav., a) sudaro 16 tarpusavyje sujungtų aukšto slėgio balionų (1), užpildytų ataušintu vandeniu, kurį iš viršaus spaudžia suslėgtos dujos. Šie 14 m aukščio hidroakumulaciniai balionai (1 pav., b), greitai uždarytos užvarinės sklendės, droseliavimo grandys, ilgi vamzdynai, vedantys į reaktoriaus bloką (1 pav., c), bei kita armatūra yra 117/1 pastate.

Šiame darbe nagrinėjamas ilgame koridoriuje esančių didelio (0,426 m) išorinio skersmens RAAS vamzdžių išmontavimo optimizavimas (1 pav., c). Koridorius yra siaura 2,4 m pločio patalpa. Tarpas tarp RAAS vamzdžių – apie 1 m. Vamzdžiai koridoriuje yra apie 0,9 m aukštyje virš grindų.



1 pav. 117/1 pastate esanti RAAS. a – aušinančio RAAS vandens tiekimas iš hidroakumuliacinių mazgų (1 – hidroakumuliacinis balionas, 2 – uždarantysis plūdinis vožtuvas, 3 – greitai uždaryta užvarinė sklendė, 4 – tarpinio droseliavimo grandis, 5 – greitai uždaryta RAAS sklendė); b – RAAS hidroakumulaciniai balionai 117/1 pastate; c – 117/1 pastate esantys RAAS didelio skersmens vamzdžiai, vedantys link reaktoriaus bloko

3. RADIOLOGINĖ SITUACIJA

2006 m. sausį atlikus 117/1 pastato radiologinio vertinimo tyrimus buvo nustatyta, kad reaktoriaus avarinio aušinimo sistemos komponentų vidiniai paviršiai yra užteršti dėl sąlyčio su radioaktyviu vandeniu. Manoma, kad sistema užsiteršė radioaktyviam vandeniui patekus iš PCK per remontinio aušinimo talpas. Tyrimų metu iš RAAS sistemos buvo išleistas vanduo ir matuojama tik kontaktinė gama spinduliuotės dozės galia (vamzdynai nebuvo atidaromi). Dozės galia, palyginus su gama fonu patalpose, buvo didesnė iki 1,5 karto, o vietomis – iki 6 kartų. Išmatuota maksimali dozės galia buvo $2,5E-03$ mSv/h. Taigi atlikus tyrimus buvo nuspręsta užterštą įrangą vidinį paviršių deaktyvuoti.

2006 m. kovą–liepą buvo atlikti bandymai tinkamiausiam deaktyvavimo būdui nustatyti. Bandymams atlikti buvo pasirinktas vienas iš šešiolikos hidroakumuliacinių balionų. Buvo deaktyvuojama trimis būdais: didelio slėgio pulsuojančia vandens srove, dviejų tipų deaktyvaciniais tirpalais ir mechanškai.

Po deaktyvacijos didelio slėgio pulsuojančia vandens srove hidroakumuliacinio baliono vidinio paviršiaus aktyvumas sumažėjo 2–3 kartus. Vandens srovė daugiausiai nuplovė radionuklidą Co-60. Deaktyvacijai naudojant tik deaktyvacinius tirpalus paviršinis aktyvumas sumažėjo 10–17 kartų. Papildomai atlikus mechaninį deaktyvavimą, panaudojant pneumatinę poliravimo mašiną su vieliniu ratu, paviršinis aktyvumas sumažėjo nuo 10 iki 80 kartų.

2006 m. gruodį buvo atlikti matavimai nustatant radioaktyvių šaltinių aktyvumus 117/1 pastate. Atlikus spektrometrinius matavimus buvo nustatyta, kad RAAS hidroakumuliacinių balionų, sklendžių bei vamzdžių vidinis paviršius daugiausiai užterštastokiais radionuklidais kaip Co-60 (vidinis paviršinis aktyvumas siekė nuo 20 iki 690 Bq/cm^2) bei Cs-137 (vidinis paviršinis aktyvumas siekė nuo 20 iki 150 Bq/cm^2). Po deaktyvavimo bandymų vieno hidroakumuliacinio baliono vidinis paviršinis aktyvumas buvo kur kas mažesnis, palyginus su kitais hidroakumuliaciniais balionais. Didžioji radionuklido Co-60 dalis, buvusi ant šio baliono sienelės vidinio paviršiaus, buvo nuplauta į RAAS vamzdynus, kurie yra po hidroakumuliaciniais balionais. Todėl viena RAAS vamzdynų atšaka papildomai užsiteršė. RAAS vamzdyno, išeinančio iš deaktyvuoto hidroakumuliacinio baliono, paviršinis aktyvumas siekia apie 900 Bq/cm^2 , tuo tarpu kito vamzdyno – tik apie 130 Bq/cm^2 [5].

4. MODELIAVIMO METODIKA

Šiame straipsnyje pateiktos analizės tikslas – RAAS užterštų vamzdžių, esančių koridoriuje, išmontavimas, parenkant optimaliausią išmontavimo strategiją, kad darbuotojai gautų kuo mažesnę apšvitą. Kad būtų lengviau transportuoti 70 m ilgio koridoriumi, RAAS 0,426 m skersmens vamzdžiai supjaustomi 1 m ilgio dalimis. Dėl mažos koridoriaus erdvės transportuojama tiksliai po vieną vamzdžio dalį. Vamzdžių

išmontavimas ir transportavimas vykdomas viena kryptimi, t. y. nuo reaktoriaus bloko link RAAS hidroakumuliacinių balionų. Analizuojamos dvi išmontavimo strategijos:

A. Kai išmontavimas pradedamas nuo mažiau užteršto vamzdžio (1 vamzdis), o jį išmontavus išmontuojamas likęs labiau užterštas vamzdis (2 vamzdis);

B. Kai išmontavimas pradedamas nuo labiau užteršto vamzdžio (2 vamzdžio), o jį išmontavus išmontuojamas likęs mažiau užterštas vamzdis (1 vamzdis).

Priimama, kad išmontavimo darbus vykdo trys darbuotojai, t. y. pjovėjas, padėjėjas ir vežėjas.

Pjovėjas kartu su padėjėju sumontuoja automatinę pjovimo įrangą ant vamzdžio, įrengia atramas vamzdžiui bei pastato vežimėlį, ant kurio bus padėta nupjauto vamzdžio dalis. Priimama, kad vykdant šiuos darbus darbuotojai būna vidutiniškai 0,1 m atstumu nuo montuojamos pjovimo įrangos bei ši pjovimo operacija vykdoma 20 minučių.

Vamzdžio pjovimo metu pjovėjas prižiūri pjovimo įrangą stovėdamas apie 0,5 m atstumu nuo pjaunamo vamzdžio. Padėjėjas ir vežėjas laukia apie 2 m atstumu nuo pjaunamų vamzdžių tol, kol vamzdis bus nupjautas.

Vežėjas vežimėliu nugabena nupjautą vamzdžio dalį į laikiną saugyklą, kuri yra prie RAAS hidroakumuliacinių balionų, ir grįžta atgal į pjovimo vietą. Priimama, kad vežėjas vidutiniškai užtrunka tiek pat laiko, kiek ir pjovėjas su padėjėju paruošdami įrangą naujam pjovimui, t. y. 20 min. Išmontavus pirmąjį vamzdį, vežėjas turės vengti likusio antrojo vamzdžio jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio, todėl jis eis arčiau koridoriaus sienos.

Koridorius turi kelis posūkius, tačiau modeliavime priimama, kad tiek koridorius, tiek vamzdžiai yra tiesūs. Stengiantis optimizuoti modeliavimą, buvo pasirinkta 10 m ilgio koridoriaus dalis, tokiu būdu išlaikomas dozių galių lauko tolygumas ir pagreitėja modeliavimo skaičiavimai.

Vamzdžių, esančių koridoriuje, vidinis paviršinis aktyvumas nebuvo išmatuotas. Šiame darbe konservatyviai priimama, kad šių vamzdžių vidinis aktyvumas yra toks pat kaip ir tokio paties skersmens vamzdžiuose tarp RAAS hidroakumuliacinių balionų ir greitaeigių užtvarinių sklendžių (1 pav., a). Modeliavime naudojamų vamzdžių vidinio paviršiaus užterštumo radionuklidinė sudėtis ir aktyvumai pateikti 1 lentelėje. Šioje lentelėje matyti, kad 1 vamzdžio bendras vidinis paviršinis aktyvumas didesnis negu 2 vamzdžio, tačiau užterštumas Co-60 yra daugiau kaip du kartus mažesnis. Šis radionuklidas spinduliuoja didesnės energijos gama spektrą negu kiti radionuklidai, aptikti vamzdyje, todėl 2 vamzdžio užterštumas yra didesnis negu 1 vamzdžio.

Modeliavime priimama, kad aktyvumas vamzdžiuose pasiskirstęs tolygiai per visą vidinio paviršiaus plotą ir 1 mm yra įsiskverbęs į vamzdžio sienelę.

Modeliuojant sudėtingos geometrijos sistemas dozes vertinti yra sudėtinga. Dozės skaitinei reikšmei turi įtakos įrangos geometrija, radioaktyviųjų šaltinių išsidėstymas, ekranavimo konfigūracija ir darbo organizavimas. Kompiuterinė programa „VISIPLAN 3D Alara Planning Tool“ [6] įgalina

1 lentelė. Modeliavime naudota paviršinio užterštumo radionuklidinė sudėtis [5]

Radionuklidai	1 vamzdis		2 vamzdis	
	Paviršinis aktyvumas Bq/cm ²	Paviršinis aktyvumas %	Paviršinis aktyvumas Bq/cm ²	Paviršinis aktyvumas %
Mn-54	2,92	2	4,75	4
Co-60	26,31	20	61,24	51
Cs-134	1,22	1	2,02	1
Cs-137	103,87	77	52,39	44
Bendras	134,33	100	120,42	100

išspręsti šias problemas, todėl šiame straipsnyje pateiktas modeliavimas ir buvo atliktas pasitelkiant minėtą programą.

Šia programa galima sudaryti trimačius (3D) modelius, pasirenkant objekto medžiagą bei radionuklidus iš duomenų bazės. Sukurtą geometrinį modelį galima patikrinti, taip išvengiama objektų persidengimo, geometrijos nevienalytiškumo ir kitų modeliavimo klaidų. Be to, iš išmatuotų dozės galių reikšmių, žinant radionuklidinę sudėtį ir šaltinių išsidėstymą, galima perskaičiuoti dozės galią bet kuriame kitame erdvės taške. Programa dozės galią skaičiuoja „išskaidymo į taškinis šaltinius“ metodu įvertinant dozės kaupimo veiksnį. Dozės galia apskaičiuojama nurodytuose erdvės taškuose, darbuotojo pozicijoje ar jo judėjimo taškų trajektorijoje. Įvertinus laiką, nustatoma individuali darbuotojo ar kolektyvinė efektinė dozė. Skaičiavimo rezultatai gali būti vaizduojami dozės galių izolinijomis.

Fotonų srauto tankį φ (cm⁻² × s⁻¹) norimame erdvės taške programa įvertina pagal šaltinio tūryje nustatytų taškinių šaltinių skaičių, įvertinus kiekvieno taškinio šaltinio įtaką tam taškui.

$$\varphi = \int_V \frac{S \cdot B \cdot e^{-b}}{4 \cdot \pi \cdot \rho^2} dV;$$

čia S – fotonų skaičius, emituojamas iš šaltinio (n × s⁻¹ × cm⁻³), B – dozės kaupimo veiksnys [7], b – vidutinė sklidimo trajektorija (ekrano slopinimo efektyvumas) (cm⁻¹), ρ – medžiagos tankis (g/cm³).

Pagal fotonų srauto tankį programa kiekviename taške apskaičiuoja efektinę dozę D [8], kuri priklauso nuo dozės konversijos koeficientų h_i :

$$D = \sum_i h_i \cdot \varphi_i;$$

čia h_i – dozės konversijos koeficientas atitinkamai fotonų energijai, φ_i – srauto tankis atitinkamai fotonų energijai (cm⁻² × s⁻¹).

Dozės konversijos koeficientas priklauso nuo skirtingos žmogaus padėties spinduliuotės krypties atžvilgiu. Išskiriamos tokios žmogaus padėties: spinduliuotė žmogų veikia iš priekio, nugaros, šono, iš visų pusių ir visomis kryptimis, t. y. iš visų pusių įskaitant ir iš viršaus, ir iš apačios. Dozės konversijos koeficientų reikšmės žmogui pateiktos 1,2 m aukštyje. Modeliuojant dažniausiai priimama, kad spinduliuotė

veikia žmogų iš visų pusių, kadangi žmogus juda aplink, sukasi apie savo ašį įvairių šaltinių atžvilgiu. Dozės konversijos koeficientai pateikti ICRP dokumente [9], kuris remiasi [10–12].

Programa „VISIPLAN 3D Alara Planning Tool“ yra verifikuota, atliekant palyginamuosius skaičiavimus ANSI / ANS 6.6.1 [13] bei ESIS 1-ąjį uždavinį [14].

5. MODELIAVIMO REZULTATAI

Modeliavimas buvo atliktas keliais modeliavimo etapais. Pirmiausia buvo nustatyta dozės galia vežėjo pozicijoms, kai vežėjas yra tarp dviejų užterštų vamzdžių ir kai transportuoja vamzdžio dalis, kadangi šiuo modeliavimo etapu gaunamos vežėjo efektinės dozės nepriklauso nuo pasirinktos vamzdžių išmontavimo strategijos. Likusių darbuotojų pozicijoms dozės galios nustatomos tam tikruose priimtuose pasirinktuose taškuose, kurie priklauso nuo vamzdžių išmontavimo strategijos.

5.1. Dozės galios įvertinimas vežėjo pozicijoms

Įvertinant vežėjo pozicijai dozės galią, buvo pasirinktas modelis sudarytas iš koridoriuje esančių dviejų 10 m ilgio vamzdžių. Tiriamas dozės galios laukas, kuris kerta vamzdžius per vidurį, 5 m atstumu nuo menamo vamzdžio galo. Šis modelis skirtas nustatyti vežėjo efektinę dozę, kai jis koridoriu, tarp dviejų dar nupjautų vamzdžių, transportuoja nupjautą vamzdžio dalį arba grįžta atgal į pjovimo vietą. Kaip matyti 2 pav., a, dozės galios laukas koridoriaus skersine kryptimi yra asimetrinis, nes 2 vamzdis yra labiau užterštas Co-60 radionuklidu. Vežėjas T taške (2 pav., a) bus veikiamas 6,9E-04 mSv/h.

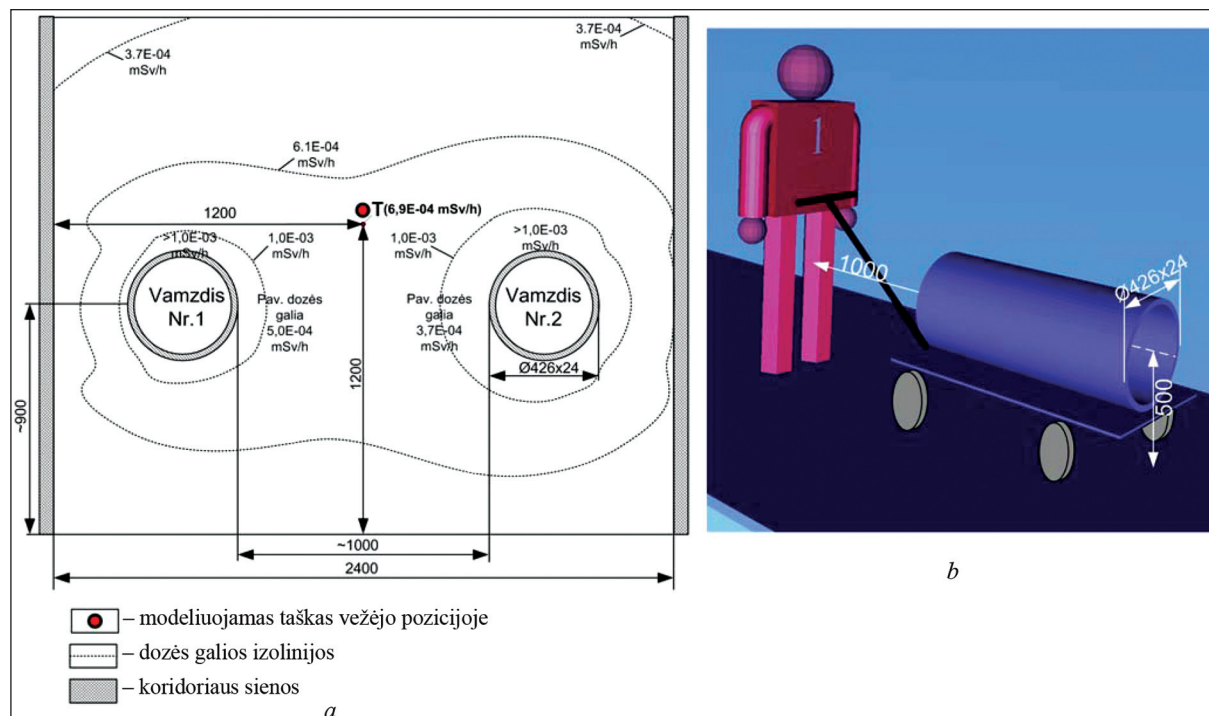
Nustatant dozės galią vežėjo pozicijoje, priimama, kad jis yra 1 m atstumu nuo transportuojamos nupjautos vamzdžio dalies. 1 m ilgio vamzdžio dalis yra ant vežimėlio, esančio 0,5 m aukštyje virš grindų (2 pav., b). Buvo sumodeliuota, kad jei nupjauta vamzdžio dalis yra iš 1 vamzdžio, tai darbuotojo pozicijoje dozės galia yra 7,0E-05 mSv/h, o jei iš 2 vamzdžio – tai 9,9E-05 mSv/h.

5.2. Dozės galios darbuotojams įvertinimas A strategijos atveju

Strategijos A atveju įvertinant darbuotojų dozių galias buvo sukurti du modeliai. Pirmasis modelis, sudarytas iš dviejų vamzdžių, kuriame 1 vamzdis (5 m ilgio) yra pjaustomas, o 2 vamzdis – sveikas (3 pav., a). Antrasis modelis sudarytas iš vieno vamzdžio, t. y. 1 vamzdis jau yra išmontuotas, o 2 vamzdis (7 m ilgio) pradedamas pjaustyti (3 pav., b). Šiuose modeliuose nustatomos darbuotojų pozicijų dozės galios modeliuojamuose taškuose, kurių reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

5.3. Dozės galios darbuotojams įvertinimas B strategijos atveju

Strategijos B atveju darbuotojų dozės galios buvo įvertintos analogiškai kaip ir A strategijos atveju, tik šioje strategijoje



2 pav. Dozės galios įvertinimas vežėjo pozicijoms. *a* – dozės galios laukas tarp dviejų vamzdžių; *b* – modelio trimatis vaizdas. Vežėjo padėtis transportuojamos nupjautos vamzdžio dalies atžvilgiu

vamzdžiai išmontuojami nuo 2 vamzdžio. Darbuotojų pozicijos bei dozės galios laukai pateikti 3 pav., *c*, *d*. Darbuotojų pozicijų dozės galios modeliuojamuose taškuose pateiktos 2 lentelėje.

6. REZULTATŲ ANALIZĖ

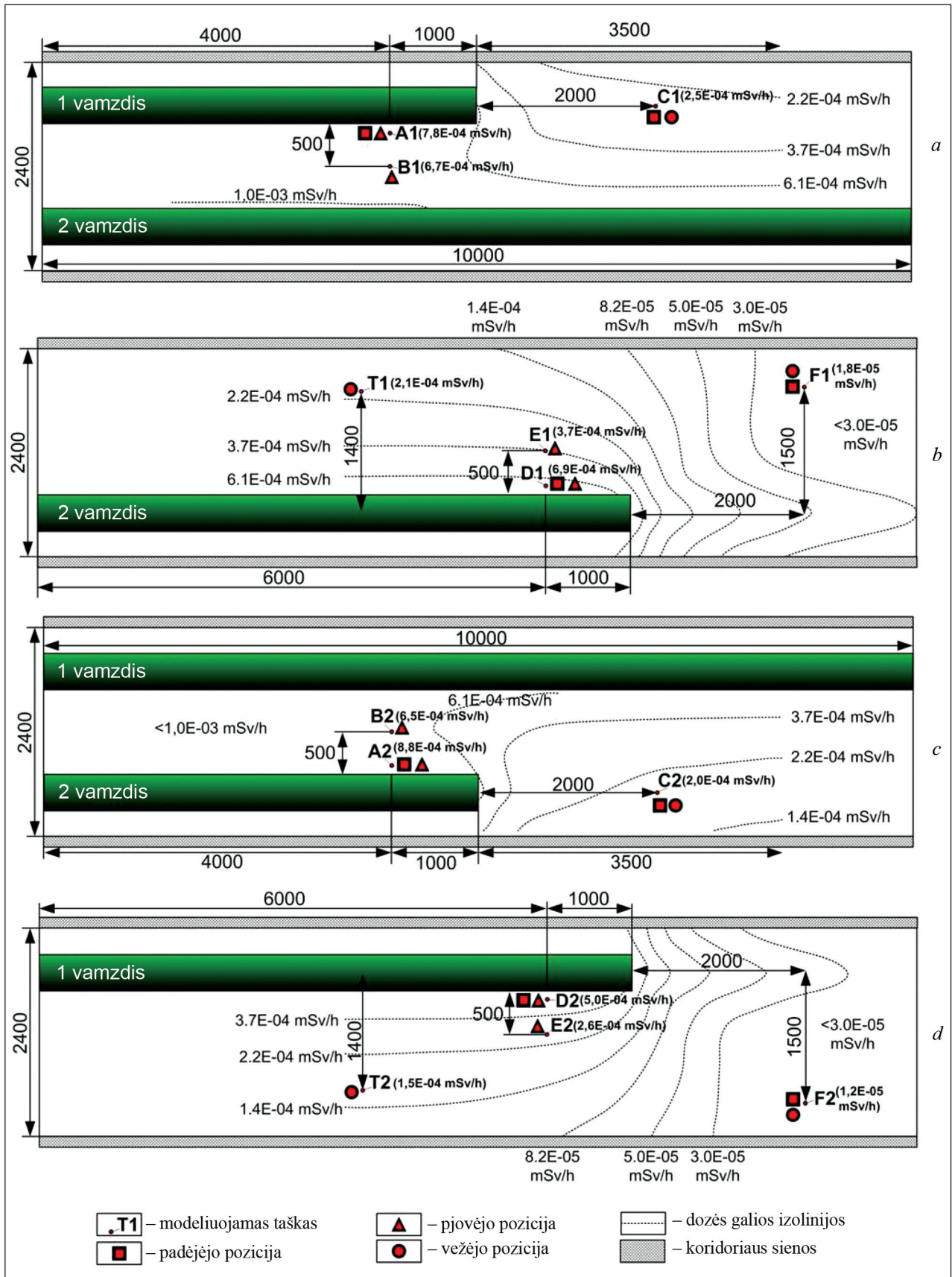
Atlikus modeliavimą ir pagal atliekamą operaciją sugrupavus kiekvieno darbuotojo dozės galių reikšmes bei įvertinus apšvitos laiką, t. y. operacijos trukmę, buvo nustatytos kiekvieno darbuotojo efektinės dozės. Kadangi koridoriaus ilgis yra apie 70 m, tai priimama, kad ir vieno vamzdžio pjovimo operacijų skaičius bus 70. Taigi, vertinant suminę darbuotojo efektinę

dozę, vienos pjovimo operacijos metu gauta darbuotojo efektinė dozė buvo padauginta iš 70-ies operacijų.

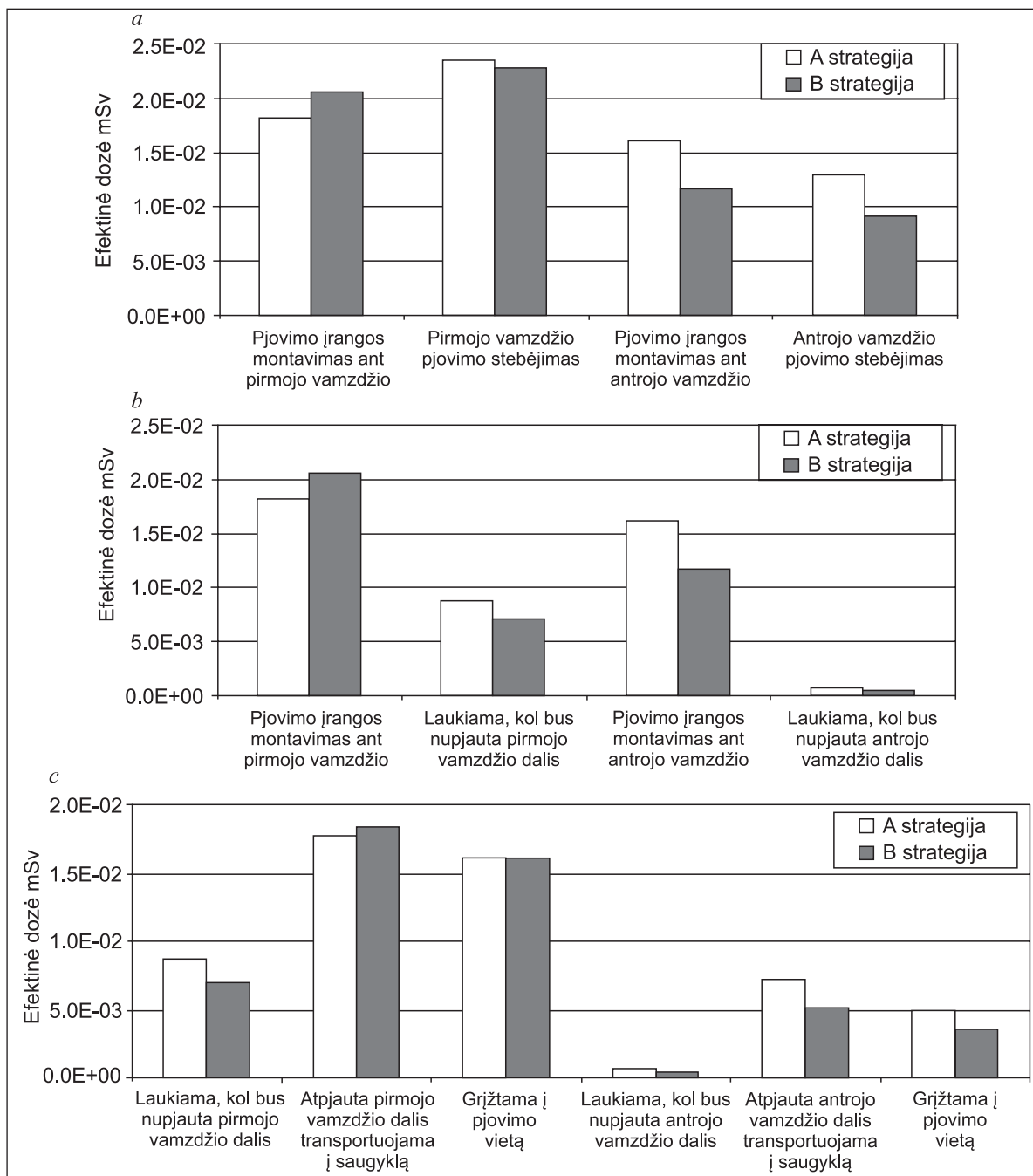
Pjovėjo, montuojančio pjovimo įrangą ant vamzdžio bei prižiūrinčio pjovimo įrangą vamzdžio pjovimo metu, efektyvių dozių kiekvienai vamzdžių išmontavimo strategijai palyginimas pateiktas 4 pav., *a*. Pjovėjas A strategijos atveju gauna apie 6 % didesnę efektinę dozę pjovimo įrangos montavimo metu ir apie 12,5 % didesnę efektinę dozę pjovimo stebėjimo metu, nei B strategijos atveju. Išmontavimo A strategijos atveju pjaunant 1 vamzdį pjovėjo, stebinio pjovimo įrangą, pozicija (B1 taškas) yra arčiau labiau užteršto 2 vamzdžio (žr. 4 pav., *a*), todėl jis gauna didesnę efektinę dozę negu B strategijos atveju vykdydamas tas pačias operacijas.

2 lentelė. Dozės galios darbuotojams vamzdžių išmontavimo strategijų atvejais

A strategijos atveju		B strategijos atveju		Modeliuojamo taško aprašymas
Modeliuojamas taškas	Dozės galia modeliuojamame taške mSv/h	Modeliuojamas taškas	Dozės galia modeliuojamame taške mSv/h	
A1	7,8E-04	A2	8,8E-04	Šiame taške 0,1 m atstumu nuo pjaunamo vamzdžio pjovėjas ir padėjėjas ruošiasi pjovimui
D1	3,7E-04	D2	5,0E-04	
B1	6,7E-04	B2	6,5E-04	Šiame taške pjaunant vamzdį pjovėjas prižiūri įrangą
E1	6,9E-04	E2	2,6E-04	
C1	2,5E-04	C2	2,0E-04	Šiame taške pjaunant vamzdį vežėjas ir padėjėjas atsitraukę nuo vamzdžių laukia, kol bus nupjautas vamzdis
F1	1,8E-05	F2	1,2E-05	
T1	2,1E-04	T2	1,5E-04	Šiame taške – vežėjo pozicija transportuojant nupjautą vamzdžio dalį. Dozės galia vertinta tik nuo likusio vamzdžio bei nuo transportuojamos vamzdžio dalies (žr. 5.1 skyrelyje)



3 pav. Darbuotojų pozicijos ir dozės galios laukai. a – A strategijos atveju išmontuojamas 1 vamzdis, 2 vamzdis dar neišmontuotas; b – A strategijos atveju išmontuojamas 2 vamzdis, 1 vamzdis jau išmontuotas; c – B strategijos atveju išmontuojamas 2 vamzdis, 1 vamzdis dar neišmontuotas; d – B strategijos atveju išmontuojamas 1 vamzdis, 2 vamzdis jau išmontuotas



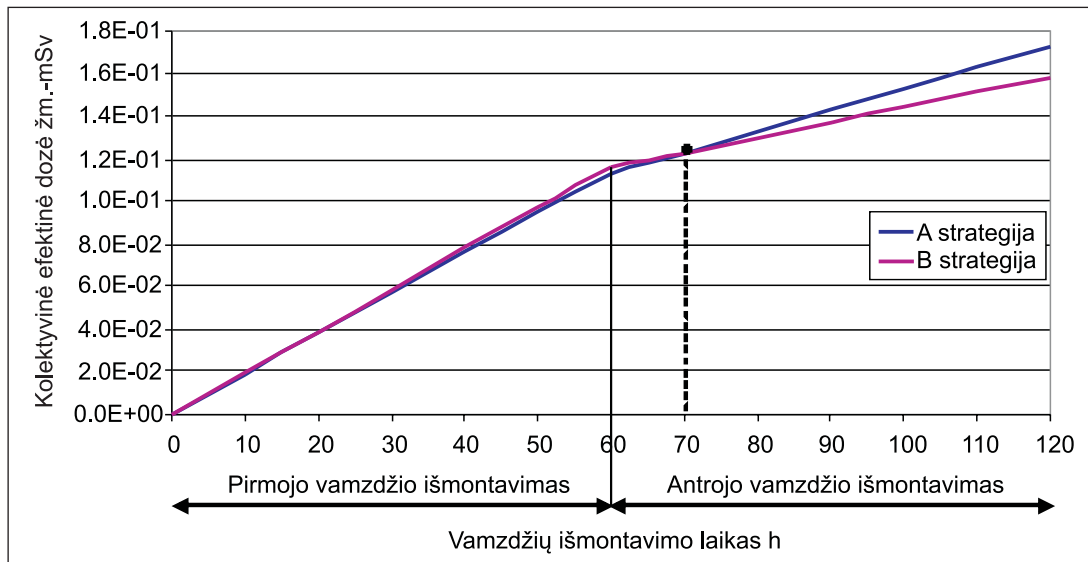
4 pav. Darbuotojų efektinės dozės kiekvienai operacijai palyginimas. *a* – plovėjo, *b* – padėjėjo, *c* – vežėjo

Padėjėjo, kuris padeda pjovėjui sumontuoti pjovimo įrangą ir pjovimo metu laukia atsitraukęs atokiau nuo vamzdžių, efektinė dozė yra parodyta 4 pav., *b*. Padėjėjas A strategijos atveju gauna apie 6 % didesnę efektinę dozę pjovimo įrangos montavimo metu (kaip ir pjovėjas) ir apie 21 % didesnę efektinę dozę laukdamas, kol bus nupjauta vamzdžio dalis, nei B strategijos atveju, vykdydamas tas pačias operacijas.

Vežėjo efektinės dozės laukiant, kai pjauna vamzdį, transportuojant atpjautą vamzdžio dalį bei grįžtant į pjovimo vietą yra parodytos 4 pav., *c*. Vežėjas A strategijos atveju gauna apie 21 % didesnę efektinę dozę laukdamas, kol bus nupjauta vamzdžio dalis (kaip ir padėjėjas), apie 6 % mažes-

nė efektinę dozę transportuodamas nupjautą vamzdžio dalį į saugyklą ir apie 6,8 % didesnę efektinę dozę grįždamas į pjovimo vietą, nei B strategijos atveju, vykdydamas tas pačias operacijas.

Darbuotojų kolektyvinės dozės, atliekant vamzdžių išmontavimą, kitimas laike parodytas 5 pav. Šiame paveiksle matyti, kad iš pradžių išmontuojant 1 vamzdį (A strategijos atveju) darbuotojai gauna mažesnę kolektyvinę dozę, nei pradedant išmontavimą nuo 2 vamzdžio (B strategijos atveju). Išmontavus pirmąjį vamzdį ir pradėjus išmontuoti likusį vamzdį, darbuotojai gauna didesnę kolektyvinę dozę A strategijos atveju, nei B strategijos atveju. 70-ą darbo valandą



5 pav. Kolektyvinės efektyvinės dozės dviems išmontavimo strategijoms palyginimas. A strategija – pirmiausia išmontuojamas mažiau užterštas 1 vamzdis; B strategija – pirmiausia išmontuojamas labiau užterštas 2 vamzdis

3 lentelė. Darbuotojų efektyvių dozių dviems išmontavimo strategijoms palyginimas

Darbuotojas	Sukaupta efektyvinė dozė mSv	
	A strategijos atveju	B strategijos atveju
Pjovėjas	7,07E-02	6,41E-02
Padėjėjas	4,37E-02	3,96E-02
Vežėjas	5,53E-02	5,06E-02
Kolektyvinė efektyvinė dozė žm.-mSv	1,70E-01	1,54E-01

atsiranda kolektyvinės dozės kreivių sankirta ir galutinė dozė, gaunama išmontavus abu vamzdžius A strategijos atveju yra gerokai didesnė nei išmontavus abu vamzdžius B strategijos atveju.

Efektinės dozės reikšmės darbuotojams bei kolektyvinė efektyvinė dozė dviems išmontavimo strategijoms pateikta 3 lentelėje. Kaip matyti šioje lentelėje, pjovėjas gauna didžiausią efektyvinę dozę, kadangi jis visą laiką dirba tarp vamzdžių arba arti vamzdžio. Kiti darbuotojai apie pusę savo darbo laiko laukia atokiau nuo spinduliuotės šaltinių, todėl jie gauna mažesnę efektyvinę dozę. Palyginus strategijų kolektyvinių efektyvių dozių reikšmes matyti, kad pradėjus pjaustyti nuo labiau užteršto 2 vamzdžio darbuotojai gaus 0,016 žm.-mSv, arba apie 10 % mažesnę, kolektyvinę efektyvinę dozę.

7. IŠVADOS

Atlikus dozės galių laukų modeliavimą dviems koridoriuje esančių vamzdžių išmontavimo strategijoms (A strategijos atveju – išmontavimas pradedamas nuo 1 vamzdžio, o jį išmontavus išmontuojamas labiau užterštas 2 vamzdis; B strategijos atveju vamzdžių išmontavimo eiliškumas yra prie-

šingas) bei įvertinus darbuotojų gaunamas dozes skirtingų strategijų atveju, galima padaryti šias išvadas:

1. 2 vamzdis yra labiau užterštas Co-60 radionuklidu negu 1 vamzdis, todėl dozės galios laukas koridoriuje yra nesimetrišnis.

2. Pjovėjas gauna didžiausią efektyvinę dozę abiejose vamzdžių išmontavimo strategijose, kadangi jis visus darbus atlieka stovėdamas tarp vamzdžių arba arti vamzdžių. Vežėjas gauna mažesnę efektyvinę dozę negu pjovėjas, kadangi jis apie pusę savo darbo laiko koridoriu transportuoja atpjautas vamzdžio dalis, o likusį darbo laiką (kaip ir padėjėjas vamzdžio pjovimo metu) būna atokiau nuo spinduliuotės šaltinių. Mažiausią efektyvinę dozę gauna padėjėjas.

3. Analizė parodė, kad B strategijos atveju kolektyvinė efektyvinė dozė yra apie 10 % (0,016 mSv) mažesnė nei A strategijos atveju.

Gauta 2009 09 11
Priimta 2009 12 15

Literatūra

1. Lietuvos Respublikos Seimo 2002 m. spalio 10 d. nutarimas Nr. IX-1130 „Dėl nacionalinės energetikos strategijos patvirtinimo“. *Valstybės žinios*. 2002. Nr. 99-4397.
2. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. lapkričio 26 d. nutarimas Nr. 1848 „Dėl valstybės įmonės Ignalinos atominės elektrinės pirmojo bloko eksploatavimo nutraukimo būdo“. *Valstybės žinios*. 2002. Nr. 114-5095.
3. *Radiacinės saugos optimizavimo (ALARA) atominės elektrinės eksploatavimo nutraukimo metu vadovas*. Vilnius: RSC, 2006.
4. *Lietuvos higienos norma HN 87 : 2002 „Radiacinė sauga branduolinės energetikos objektuose“*. Patvirtinta Lietuvos

- Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2002 m. gruodžio 17 d. įsakymu Nr. 643.
5. Ignalinos AE 117/1 pastato įrangos deaktyvavimas ir išmontavimas. Projekto „IAE 117/1 pastato deaktyvavimas ir išmontavimas“ rengimas. P0019-10016 003. Poveikio aplinkai vertinimo ataskaita. VT Nuclear Services Ltd., Lietuvos energetikos instituto Branduolinės inžinerijos problemų laboratorija, 2008.
 6. Vermeersch F. *VISIPLAN 3D Alara Planning Tool. Training Guide. Exercises. Calculation Method & Validation Tests*. SCK CEN, 2005. 64 p.
 7. ANSI/ANS-6.4.3. *Gamma-Ray Attenuation Coefficients & Buildup Factors for Engineering Materials*. USA, 1991.
 8. The International Commission on Radiological Protection. Data for Use in Protection Against External Radiation. *ICRP Publication 51*. 1987. Vol. 17. N 2/3.
 9. The International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation. *ICRP Publication 74*. 1996. Vol. 26. N 3/4.
 10. The International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 60*. 1990. Vol. 21. N 1–3.
 11. The International Commission on Radiological Protection. Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers. *ICRP Publication 61*. 1991. Vol. 21. N 4.
 12. The International Commission on Radiological Protection. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, Replacement of ICRP 61. *ICRP Publication 68*. 1994. Vol. 24. N 4.
 13. ANSI/ANS 6.6.1. *The Calculation and Measurement of Direct and Scattered Radiation from LWR Nuclear Power Plants*. 1979.
 14. ESIS Specification for gamma ray shielding benchmark applicable to a nuclear radwaste facility. *Newsletter #37*. European Shielding Information Service, 1981.

Audrius Šimonis, Rimantas Zujus, Povilas Poškas

MODELLING OF RADIATION FIELDS AND RADIATION DOSES FOR THE PERSONNEL DURING DISMANTLING THE RBMK-1500 REACTOR EMERGENCY CORE COOLING SYSTEM

1. DISMANTLING OF LARGE DIAMETER PIPES

Summary

Personnel radiation safety is one of the most important factors during dismantling the nuclear installations. In order to assess the personnel radiation safety quite accurately, a modelling of radiation fields is necessary, using up-to-date computer programs. For such modelling, the VISIPLAN 3D Alara Planning Tool computer program developed by SCK CEN (Belgium) was used in this work. This program allows assessing the values of gamma radiation from various sources in case of different shielding geometry (structure) and

shielding materials. The program is used to design gamma radiation shielding, to assess existing and planned accumulative effective doses to personnel during operation, maintenance and dismantling activities.

The estimation of radiation fields and doses to the personnel during dismantling part of the large diameter pipelines of the RBMK reactor emergency core cooling system was carried out. Also, optimisation of accumulated effective doses to the workers executing dismantling works was performed (implementation of the Alara principle). The obtained results allow to suppose that the personnel collective dose could be reduced to $1.54E-01$ man-mSv, i. e. by about 10%.

Key words: dismantling of the RBMK-1500 reactor systems, reactor emergency core cooling system, dismantling of large diameter pipes, modeling and optimisation of doses to the workers

Аудрюс Шимонис, Римантас Зујус, Повилас Пошкас

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ И ДОЗ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА ВО ВРЕМЯ ДЕМОНТАЖА СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РЕАКТОРА РБМК-1500

1. ДЕМОНТАЖ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Резюме

Радиационная безопасность персонала является одним из основных факторов при выполнении работ по демонтажу ядерных установок. Чтобы оценить радиационную безопасность персонала достаточно точно, необходимо выполнить моделирование радиационных полей при использовании современных компьютерных программ. В данной работе для такого моделирования использовалась компьютерная программа „VISIPLAN 3D Alara Planning Tool“, разработанная компанией SCK CEN (Бельгия). Эта программа позволяет оценить величины гамма радиации от различных источников при различной геометрии экранирования (структуры) и материалах экранирования. Программа используется для проектирования биологической защиты от гамма излучения, оценки получаемых и планируемых накопленных эффективных доз персоналу во время деятельности по эксплуатации, ремонту и демонтажу.

В настоящей статье были рассчитаны радиационные поля и выполнена оценка доз облучения персонала во время демонтажа части трубопроводов большого диаметра системы аварийного охлаждения реактора РБМК. Кроме того, были оптимизированы накопленные эффективные дозы персоналам, выполняющим работы по демонтажу (осуществление принципа Alara). Из полученных результатов можно предполагать, что коллективная доза персонала может быть уменьшена до $1,54E-01$ чел.-мЗв, т. е. около 10 %.

Ключевые слова: демонтаж систем реактора РБМК-1500, система аварийного охлаждения реактора, демонтаж труб большого диаметра, моделирование и оптимизация доз для персонала