

---

# Černobylio AE branduolinio kuro izotopų charakteristikų kitimo modeliavimas ir palyginimas su avarijos metu išmestų elementų tyrimo rezultatais

---

**Artūras Šmaižys,  
Povilas Poškas**

*Lietuvos energetikos institutas,  
Branduolinės inžinerijos problemų  
laboratorija,  
Breslaujos g. 3,  
LT-3035 Kaunas*

**Vidmantas Remeikis**

*Fizikos institutas,  
Branduolinių ir aplinkos  
radioaktyvumo tyrimų laboratorija,  
Savanorių pr. 231,  
LT-2028 Vilnius*

---

Siekiant sėkmingai spręsti RBMK reaktoriaus panaudoto branduolinio kuro (PBK) tvarkymo, saugojimo ir laidojimo problemas, būtina tiksliai žinoti PBK susidariusių aktinoidų, dalijimosi produktų kiekius ir radiacines charakteristikas. Eksperimentiškai atlikti tokius matavimus yra brangu ir sudėtinga, todėl plačiai taikomi skaitiniai modeliavimo metodai. SCALE kompiuterinių kodų sistema atliktas Černobylio AE (ČAE) reaktoriuje avarijos metu buvusio branduolinio kuro charakteristikų kitimo modeliavimas. Šiame darbe pateiktas skaičiavimo rezultatų bei įvairiose publikacijose pateiktų avarijos metu išmestų izotopų charakteristikų įvertinimų ir matavimų palyginimas.

**Raktažodžiai:** RBMK reaktoriaus panaudotas branduolinis kuras, branduolinio kuro charakteristikos, aktinoidai, dalijimosi produktai

## 1. ĮVADAS

Sprendžiant Ignalinos AE eksploatacijos nutraukimo problemas, svarbus klausimas yra panaudoto branduolinio kuro saugojimas ir laidojimas. Kokio tipo saugojimo, o po to ir laidojimo technologijos bus pasirinktos, labai priklauso nuo PBK radiacinių charakteristikų. Todėl yra svarbu eksperimentiškai arba skaitiniais metodais nustatyti PBK susidariusių aktinoidų, dalijimosi ir aktyvacijos produktų koncentracijas, aktyvumus ir kitus parametrus. Eksperimentiniai PBK tyrimai yra brangūs ir sudėtingi, todėl labai plačiai taikomi skaitiniai metodai. Yra įvairūs PBK charakteristikų modeliavimo kodai – BOXER, CASMO, ORIGEN-S, WIMS, APOLLO ir kiti, tačiau nei vienas iš jų nėra kodo kūrėjų validuotas RBMK tipo reaktoriaus branduoliniam kurui. Šis darbas yra vienas iš žingsnių parodant, kad SCALE kompiuterinių kodų sistema yra tinkama atlikti RBMK branduolinio kuro charakteristikų ir kitų problemų, susijusių su RBMK reaktoriais, modeliavimą. Todėl buvo atliktas Černobylio AE reaktoriuje avarijos metu buvusio branduolinio kuro charakte-

ristikų kitimo modeliavimas ir gauti skaičiavimo rezultatai palyginti su [1–3] darbuose pateiktais duomenimis:

- RBMK kurui apskaičiuotomis transuraninių nuklidų koncentracijos priklausomybėmis nuo kuro išdegimo gylio;
- kai kurių skilimo produktų ir Pu izotopų aktyvumo eksperimentinių matavimų rezultatais po Černobylio AE avarijos;
- Pu izotopinės sudėties duomenimis nustatytais iš eksperimentiškai gautų  $\alpha$  ir  $\gamma$  spektrų (buvo analizuojami Černobylio AE avarijos metu į aplinką išmestomis branduolinėmis medžiagomis užteršti bandiniai).

## 2. ČERNOBYLIO ATOMINĖ ELEKTRINĖ

Černobylio AE buvo suprojektuoti keturi kanalinio RBMK-1000 tipo branduoliniai reaktoriai. Šiuose reaktoriuose, kaip ir Ignalinos AE RBMK-1500 reaktoriuose, grafitas naudojamas neutronams lėtinti, šilumnešis yra vandens ir garo mišinys. Kai kurių RBMK-1000 ir RBMK-1500 reaktorių parametų pa-

lyginimas pateiktas 1 lentelėje. 1986 m. balandžio 26 d. ČAE IV bloke įvyko avarija, kurios metu buvo pažeista reaktoriaus aktyvioji zona bei ją supančios konstrukcijos. Avarijos metu į aplinką išmesta daug įvairių radionuklidų. Žinant plutonio, cezio ir kitų elementų izotopų aktyvumus bei jų santykius, galima nurodyti, koks branduolinio kuro išdegimo gylys buvo ČAE avarijos metu. Pagal reaktoriaus aktyviosios zonos užkrovimo žemėlapi [11], tuo metu aktyviojoje zonoje buvo 1659 kuro rinklės, kurių vidutinis išdegimo gylys 10,3 MWparos/kgU. 75% ak-

$\sigma_{c,i-1}N_{i-1}\phi$  – virsmo į  $N_i$  greitis, kai nuklidas  $N_{i-1}$  pagauna neutroną;  $\lambda_i N_i'$  –  $N_i$  susidarymo greitis, kai vyksta nuklido  $N_i'$  radioaktyvusis skilimas;  $\sigma_{f,i}N_i\phi$  –  $N_i$  išnykimo (suirimo) greitis, kai vyksta skilimo reakcija;  $\sigma_{c,i}N_i\phi$  –  $N_i$  išnykimo (suirimo) greitis, kai vyksta įvairių rūšių neutrono pagavimo reakcijos (n,  $\gamma$ ), (n,  $\alpha$ ), (n, p), (n, 2n) (n, 3n);  $\lambda_i N_i$  – nuklido  $N_i$  radioaktyviojo skilimo greitis.

Kiti kodai atlieka šias funkcijas:

1. BONAMI. Bondarenkos metodu apskaičiuoja rezonansinius nuklidų savidangos parametrus ir sukuria uždaviniui spręsti reikalingų duomenų sekas. Pagrindinis parametras, kurį skaičiuoja kodas, – tai efektinis tam tikros energetinės grupės skerspjūvis.

2. NITAWL-II. Nordheimo integraliniu būdu įvertina rezonansinę savidangą nuklidų, turinčių rezonansinius parametrus, bei apskaičiuoja neutronų srautą medžiagoje, turinčioje rezonansinius sugėriklius.

3. XSDRNPM. Sprendžia vienmatę Bolcmano pernešimo lygtį stačiakampėje, cilindrinėje arba sferinėje koordinatų sistemoje.

4. COUPLE. Sukuria skerspjūvio konstantų ir srauto svorio koeficientų dvejetainę duomenų bylą, kuri paskui naudojama kaip kodo ORIGIN-S įvedimo byla, atliekant reaktoriuje susidarančių izotopų, spinduliuotės šaltinių, išsiskiriančios šilumos ir kitokių parametrų skaičiavimus.

5. XSDOSE. Kartu su XSDRNPM kodu apskaičiuoja neutronų bei  $\gamma$  kvantų srautus ir šių srautų sukeliamas ekvivalentines dozes įvairiuose taškuose, kurie yra baigtinius matmenis turinčio cilindro ar sferos išorėje.

Sekos SAS2H tekstiniam įvedimo faile surašomi toliau išvardyti duomenys:

– kuro rinklės, reaktoriaus technologinio kanalo ir konteinerio medžiagas sudarančių cheminių elementų sudėtis, jų koncentracijos, temperatūros;

– geometriniai rinklės, reaktoriaus technologinio kanalo matmenys;

– specifinis technologinio kanalo galingumas, kuro rinklės buvimo reaktoriuje laikas, ciklų skaičius, aušinimo trukmė.

Pagrindinės prielaidos, atliekant PBK charakteristikų kitimo modeliavimą, buvo šios:

– Pradinis kuro išodrinimas – 1,8 ir 2,0%  $^{235}\text{U}$  (1,8%  $^{235}\text{U}$  išodrinimas pasirinktas todėl, kad [1] darbe pateikta transuraninių nuklidų koncentracijų priklausomybė nuo kuro išdegimo gylio branduoliniame kuru, kurio išodrinimas 1,8%  $^{235}\text{U}$ );

1 lentelė. Reaktorių RBMK-1000 ir RBMK-1500 pagrindinių parametrų palyginimas

Parametras	RBMK-1000	RBMK-1500
Reaktoriaus projektinė šiluminė galia MW	3200	4800
Reaktoriaus projektinė elektrinė galia MW	1000	1500
Maksimali leistina kuro kanalo galia kW	3250	4250
Branduolinio kuro ( $\text{UO}_2$ ) išodrinimas %	2,0	2,0; 2,4
Urano masė kuro rinklėje kg	114,7	112,2
Kuro rinklės aktyviosios dalies ilgis mm	6920	6820
Vidutinis išdegimas MW paros/kg	20	21,6

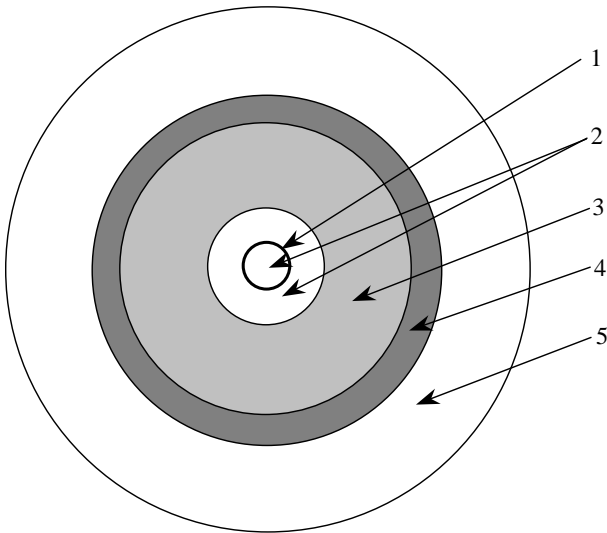
tyviojoje zonoje buvusių kuro rinklių išdegimo gylys siekė 12–15 MWparos/kgU.

### 3. PBK CHARAKTERISTIKŲ SKAIČIAVIMO MODELIS

PBK charakteristikų kitimo modeliavimas buvo atliekamas SCALE4.3 kompiuterinių kodų sistemos SAS2H seka, kuria galima apskaičiuoti branduolinio kuro išdegimo/skilimo, fotonų ir neutronų šaltinio spektrus, susidariusių skilimo produktų bei aktinoidų koncentracijas, aktyvumus ir cilindrinės sistemos radialinę ekvivalentinę dozę vienmatėje koordinatų sistemoje. SAS2H kreipiasi į kodus BONAMI [4], NITAWL-II [5], XSDRNPM [6], COUPLE [7], ORIGIN-S [8], XSDOSE [9]. Svarbiausias iš jų yra ORIGIN-S kodas, kuriuo apskaičiuojama, kaip laike kinta įvairių izotopų koncentracijos, aktyvumai ir kiti parametrai, kuriuos lemia reaktoriuje vykstantys procesai. Pagrindinė lygtis, kurią sprendžia kodas, yra  $i$ -ojo nuklido koncentracijos  $N_i$  kitimas laike:

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_j \gamma_{ji} \sigma_{f,j} N_j \phi + \sigma_{c,i-1} N_{i-1} \phi + \lambda_i N_i' - \sigma_{f,i} N_i \phi - \sigma_{c,i} N_i \phi - \lambda_i N_i \quad (i=1, \dots, I);$$

čia  $\sum_j \gamma_{ji} \sigma_{f,j} N_j \phi$  – nuklido  $N_i$  susidarymo greitis, kurį sąlygoja visų  $N_j$  nuklidų skilimo reakcijos;



1 pav. Skaičiavimo modelio geometrinė schema. 1 – kuro rinklės nešantis strypas, 2 – šilumnešis, 3 – branduolinis kuras, 4 – technologinis kanalas, 5 – grafitas

- Aštuoniolika RBMK branduolinio kuro elementų homogenizuoti į žiedo formos cilindrą. Skaičiavimo modelio geometrinė schema pavaizduota 1 paveiksle;
- Išdegimo gylis kinta nuo 4 iki 20 MW paros/kgU;
- Vidutinis šilumnešio tankis reaktoriaus kanale – 0,43 g/cm<sup>3</sup>;
- Tolygus aksialinis kuro išdegimo profilis.

#### 4. SKAIČIAVIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

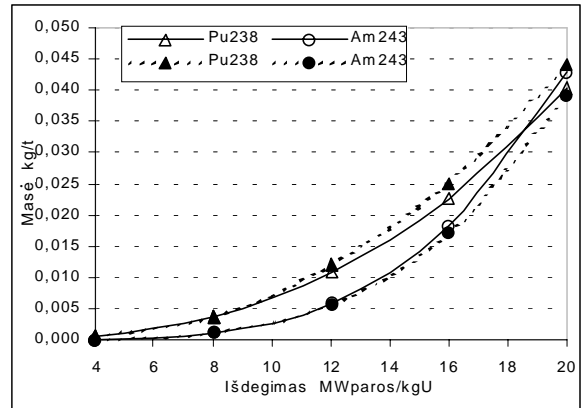
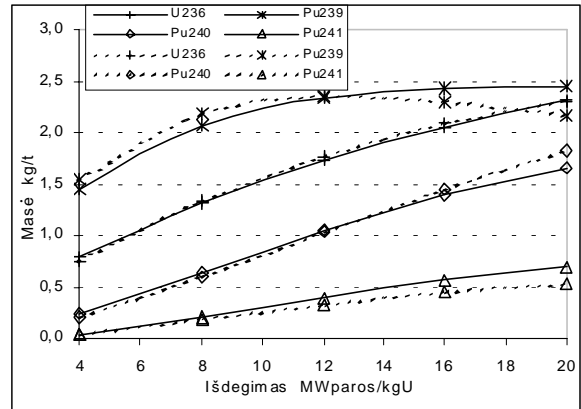
Modeliavimo ir publikacijose pateikiami duomenys buvo lyginami dviem aspektais:

1. SAS2H seka apskaičiuoti transuraninių nuklidų koncentracijų priklausomybių nuo kuro išdegimo gylio rezultatai palyginti su darbe [1] pateiktais skaičiavimo rezultatais.

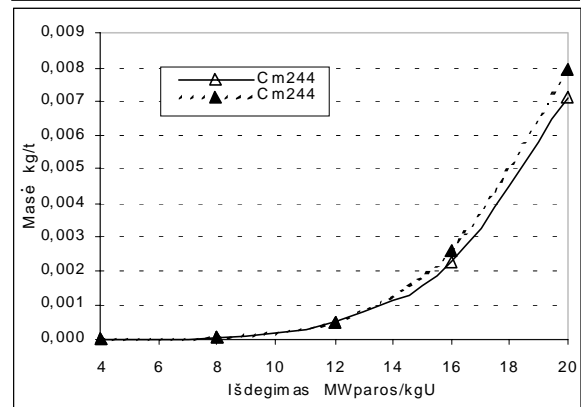
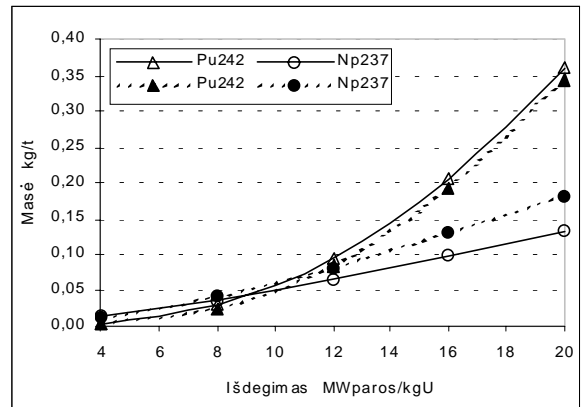
2. SAS2H apskaičiuotų skilimo produktų ir Pu izotopų aktyvumo rezultatai palyginti su po Černobylio AE avarijos paimtų bandinių eksperimentinių matavimų rezultatais, paskelbtais [2, 3].

##### 4.1. Transuraninių nuklidų koncentracijos priklausomybė nuo kuro išdegimo gylio

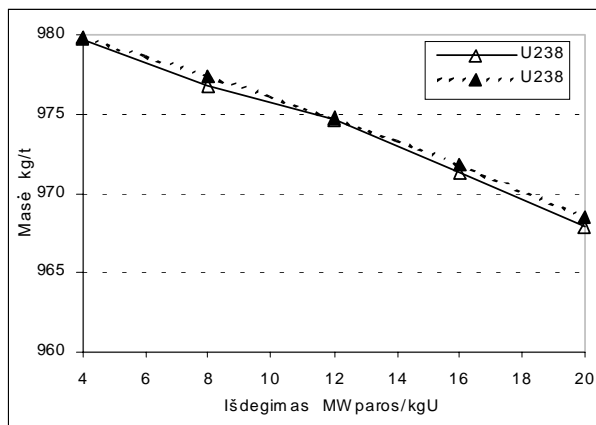
Pirmiausia lyginami branduolinio kuro transuraninių nuklidų koncentracijos kitimo nuo kuro išdegimo gylio skaičiavimo rezultatai su duomenimis, pateiktais darbe [1]. Pastarajame darbe įvairių nuklidų atsiradimo kinetika apskaičiuota pagal metodiką, pateiktą darbe [10]. 2–4 paveiksluose parodyti grafikai, kuriuose palyginami SCALE kodų sistemos SAS2H seka apskaičiuotų transuraninių nuklidų koncentracijų pokyčiai su darbo [1] duomenimis. Visuose grafikuose ištisine linija pažymėti SCALE kodų sistema



2 pav. Transuraninių nuklidų susidarymo RBMK kure priklausomybė nuo išdegimo gylio (išodrinimas – 1,8% <sup>235</sup>U)



3 pav. Transuraninių nuklidų susidarymo RBMK kure priklausomybė nuo išdegimo gylio (išodrinimas – 1,8% <sup>235</sup>U)



4 pav.  $^{238}\text{U}$  susidarymo RBMK kure priklausomybė nuo išdegimo gylio (išodrinimas – 1,8%  $^{235}\text{U}$ )

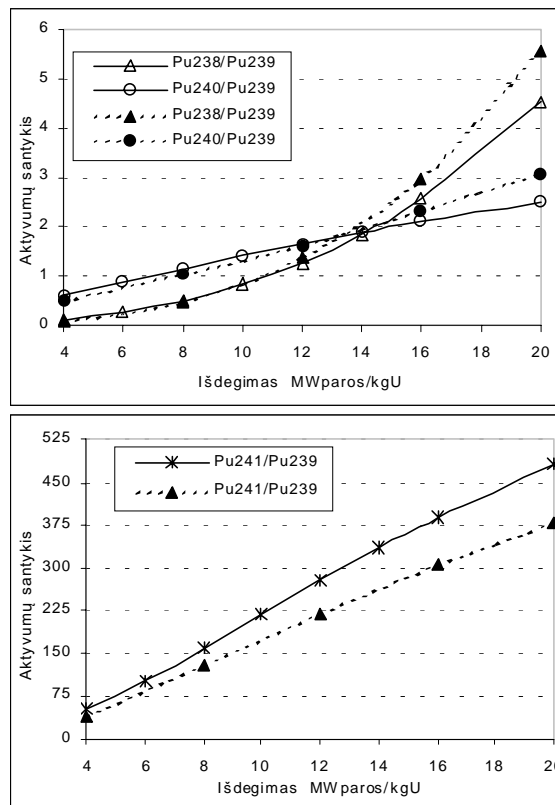
gauti rezultatai, punktyrine – duomenys, su kuriais lyginama. Pažymėtina, kad [1] nuklidų koncentracijų kitimas priklausomai nuo išdegimo gylio apskaičiuotas RBMK branduoliniam kurui, kurio pradinis išodrinimas 1,8%  $^{235}\text{U}$ . Minėtam išodrinimui buvo atliktas ir kompiuterinis modeliavimas.

Palyginus modeliavimo rezultatus ir darbo [1] duomenis (2–4 pav.), matyti, kad įvairių nuklidų koncentracijos mažiausiai skiriasi tuomet, kai kuro išdegimo gylis kinta nuo 4 iki 14 MW paros/kgU. Tame išdegimo intervale rezultatai skiriasi nuo 1 iki 15%. Kuro išdegimo gyliui kintant nuo 14 iki 20 MW paros/kgU, skaičiavimo ir darbo [1] duomenų skirtumas – 15–30%. Išimtį sudaro  $^{238}\text{U}$  izotopo koncentracijų skirtumas (4 pav.), kuris visame išdegimo gylio intervale yra apie 0,05%.

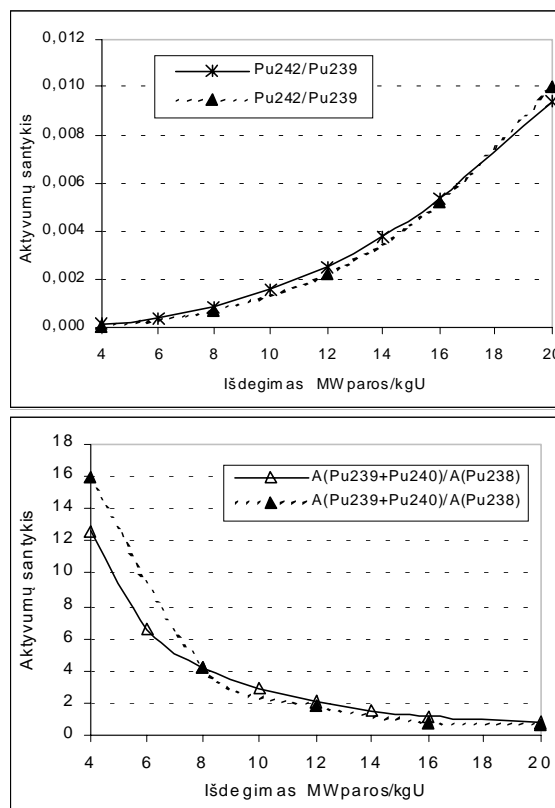
#### 4.2. Skilimo produktų ir Pu izotopų aktyvumo tyrimai

Straipsnyje [2] pateikiamas apskaičiuotas  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  izotopų aktyvumo santykių su  $^{239}\text{Pu}$  aktyvumu kitimas RBMK kure priklausomai nuo kuro išdegimo gylio. Tokių pat Pu izotopų santykių kitimas buvo modeliuojamas ir SCALE kodų sistema. Gautų modeliavimo rezultatų ir darbo [2] duomenų palyginimas parodytas 5 ir 6 paveiksluose. Visuose paveiksluose ištisine linija pažymėti SCALE kodų sistema gauti rezultatai, punktyrine – darbo [2] duomenys, kurie nuo modeliavimo reikšmių skiriasi vidutiniškai  $\pm 20\%$ .

Suminio  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  aktyvumo santykio su  $^{238}\text{Pu}$  aktyvumu priklausomybė nuo kuro išdegimo gylio pavaizduota 6 paveiksle. Remiantis radiocheminių tyrimų, kurie buvo atliekami po Černobylio AE avarijos, duomenimis [2], šalia avarijos ištikto reaktoriaus paimtų bandinių vidutinė santykio  $A_{^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}}/A_{^{238}\text{Pu}}$  reikšmė buvo 2,6. Pagal SCALE atliktus skai-



5 pav. Pu izotopų aktyvumų santykio priklausomybė nuo RBMK kuro išdegimo gylio (išodrinimas – 1,8%  $^{235}\text{U}$ )

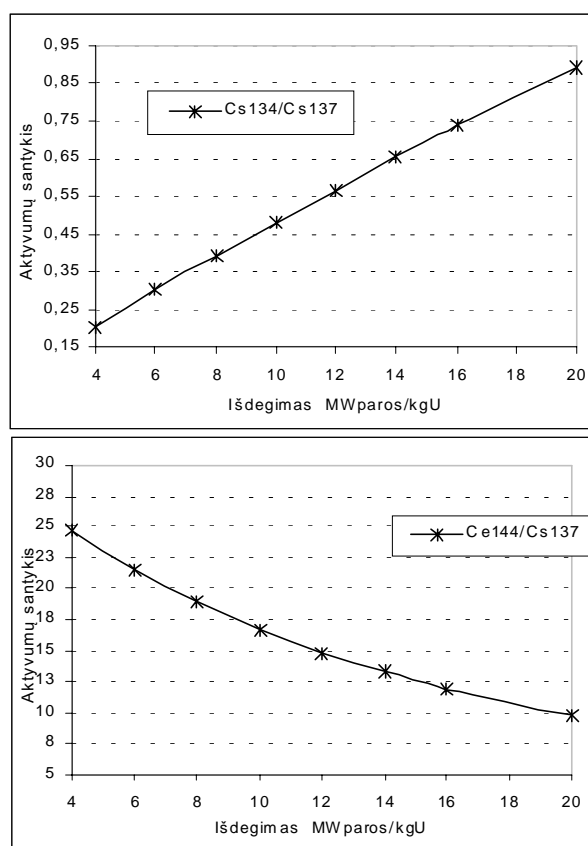


6 pav.  $A_{^{242}\text{Pu}}/A_{^{239}\text{Pu}}$  ir  $A_{^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}}/A_{^{238}\text{Pu}}$  aktyvumų santykio priklausomybė nuo kuro išdegimo gylio (išodrinimas – 1,8%  $^{235}\text{U}$ )

čiavimus (6 pav.), tokį santykį atitinka kuro išdegimas ~11 MW paros/kgU, pagal darbo [2] – apie 9 MWparos/kgU.

Kitas parametras, pagal kurį galima spręsti apie branduolinio kuro išdegimo gylį, tai  $^{134}\text{Cs}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumų santykis. 7 paveiksle pavaizduota  $^{134}\text{Cs}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumų santykio priklausomybė nuo kuro išdegimo gylio. 1986 m. gegužės mėnesį buvo ištirta daug apie Černobylio AE esančios dirvos mėginių, kuriuose nustatyta vidutinė  $^{134}\text{Cs}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumų santykio reikšmė lygi 0,53 [2]. Nors po avarijos buvo praėjęs vienas mėnuo, tačiau  $^{134}\text{Cs}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumus galima laikyti nepakitusiais, nes jų skilimo pusamžiai yra atitinkamai 2,062 ir 30,174 metų. Pagal SCALE kodų sistemos skaičiavimų rezultatus (7 pav.), minėtą  $^{134}\text{Cs}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumų santykį atitinka kuras, kurio išdegimo gylis apie 11,5 MWparos/kgU.

Straipsnyje [2] pateikiami dirvos mėginių  $^{144}\text{Ce}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumo matavimo duomenys.  $^{144}\text{Ce}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  aktyvumo santykis kinta nuo 15 iki 20. Remiantis SCALE kodų sistemos modeliavimo rezultatais (7 pav.), tokį santykio intervalą atitinka kuro išdegimo gylio intervalas nuo 7 iki 12 MW paros/kgU.



7 pav.  $A_{134\text{Cs}}/A_{137\text{Cs}}$  ir  $A_{144\text{Ce}}/A_{137\text{Cs}}$  aktyvumo santykio priklausomybė nuo kuro išdegimo gylio (išdrinimas – 2,0%  $^{235}\text{U}$ )

Panaudoto branduolinio kuro aktinoidų sudėties spektrometrinės analizės rezultatai skelbiami darbe [3], kuriame pateiktas Černobylio AE avarijos metu į aplinką išmestomis branduolinėmis medžiagomis užteršto bandinio  $\gamma$  spektras. Nors eksperimentiniai spektro matavimai buvo atliekami praėjus 10 metų po avarijos, tačiau dėl ilgų  $^{240}\text{Pu}$  ir  $^{239}\text{Pu}$  skilimo pusamžių (atitinkamai 6580 metų ir 24400 metų) galima teigti, kad šių izotopų aktyvumas liko nepakitęs. Taigi, palyginus  $^{240}\text{Pu}$  (45,2 keV) ir  $^{239}\text{Pu}$  (51,6 keV)  $\gamma$  linijų intensyvumus, gauta, kad šių izotopų aktyvumų santykis yra 1,25, o tai atitinka branduolinio kuro išdegimą ~10 MWparos/kgU (5 pav.).

Suvestiniai SCALE kompiuteriniu kodu apskaičiuoti ir publikacijose pateikti ČAE branduolinio kuro išdegimo gylio rezultatai pateikti 2 lentelėje. Joje matyti, kad SCALE kodų sistema gauti skaičiavimo

2 lentelė. Apskaičiuotų ir esamų ČAE branduolinio kuro išdegimo (MW paros/kgU) duomenų palyginimas				
Pagal ČAE reaktoriaus pakrovimo žemėlapi [11]	Pagal $A_{134\text{Cs}}/A_{137\text{Cs}}$		Pagal $A_{239\text{Pu}+240\text{Pu}}/A_{238\text{Pu}}$	
	LEI	[2]	LEI	[2]
10,3	~11,5	$8 \pm 2$	~11	~9

rezultatai geriau sutampa su ČAE reaktoriaus užkrovimo žemėlapio duomenimis nei su darbe [2] skelbiamais duomenimis.

## 5. IŠVADOS

1. Palyginus transuraninių nuklidų koncentracijos kitimo nuo kuro išdegimo gylio modeliavimo rezultatus su duomenimis, pateiktais darbe [1], gauta, kad išdegimo gyliui kintant nuo 4 iki 14 MW paros/kgU modeliavimo rezultatai skiriasi nuo 1 iki 15%. Kuro išdegimo gyliui kintant nuo 14 iki 20 MW paros/kgU, modeliavimo ir darbo [1] duomenų skirtumas – 15–30%.

2. Eksperimentiškai išmatuotos  $A_{134\text{Cs}}/A_{137\text{Cs}}$  ir  $A_{239\text{Pu}+240\text{Pu}}/A_{238\text{Pu}}$  aktyvumų santykių reikšmės yra lygios atitinkamai 0,53 ir 2,6. Apskaičiavus šiuos santykius SCALE kompiuteriniu kodu, gauta, kad juos atitinka kuro išdegimo gylis, kuris yra apie 11 MW paros/kgU. Pagal ČAE reaktoriaus užkrovimo žemėlapi, vidutinis kuro išdegimo gylis buvo 10,3 MW paros/kgU.

3. Atlikti įvairūs PBK charakteristikų kitimo skaičiavimai SCALE kompiuterinių kodų sistema parodė, kad gauti modeliavimo rezultatai skiriasi nuo 1 iki 30%, palyginti su ČAE reaktoriaus užkrovimo žemėlapio duomenimis bei skelbiamais eksperimentiniais ir teoriniais darbais. Tai parodo, kad SCALE kodų sistema yra tinkama RBMK su branduoliniu

kuru įvairiems parametrams įvertinti, tačiau reikalingi ir kiti eksperimentiniai duomenys, įgalinantys atlikti išsamesnius skaičiavimus ir validuoti SCALE kodus RBMK tipo branduolinėms sistemoms.

Gauta  
2002 12 10

#### Literatūra

1. Зарицкая Т. С., Круглов А. К., Рудик А. П. Образование трансурановых нуклидов при комплексном использовании энергетических реакторов ВВЭР и РБМК // Атомная энергия. 1979. Т. 46. Вып. 3. С. 183–185.
2. Вакуловский С. М., Орлов М. Ю., Сныков В. П. Оценка состояния аварийного реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС по отношению активностей выброшенных радионуклидов // Атомная энергия. 1991. Т. 70. Вып. 4. С. 230–234.
3. Remeikis V., Plukis A., Kimtys E. et al. Modeling of the actinidic composition of nuclear waste and spectrometric analysis // Environmental Physics. 1997. Vol. 19. No. 2. P. 5–9.
4. Greene N. M. BONAMI: Resonance Self-shielding by the Bondarenko Method. Rev. 5, Oak Ridge National Laboratory, March 1997.
5. Greene N. M., Petrie L. M., Westfall R. M. NITAWL-II: Scale System Module for Performing Resonance Shielding and Working Library Production. Rev. 5, Oak Ridge National Laboratory, March 1997.
6. Greene N. M., Petrie L. M. XSDRNPM: A One-Dimensional Discrete-Ordinates Code for Transport Analysis. Rev. 5, Oak Ridge National Laboratory, March 1997.
7. Hermann O. W. COUPLE: SCALE System Module to Process Problem-Dependent Cross Sections and Neutron Spectral Data for ORIGEN-S Analyses. Rev. 5, Oak Ridge National Laboratory, March 1997.
8. Hermann O. W., Westfall R. M. ORIGEN-S: SCALE System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms. Rev. 5, Oak Ridge National Laboratory, March 1997.
9. Bucholz J. A. XSDOSE: A Module for Calculating Fluxes and Dose Rates at Points Outside a Shield. Rev. 5, Oak Ridge National Laboratory, March 1997.
10. Круглов А. К., Рудик А. П. Искусственные изотопы и методика расчёта их образования в ядерных реакторах. Москва: Атомиздат, 1997.
11. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. 1986. Т. 61. Вып. 5. С. 301–320.

Artūras Šmaižys, Povilas Poškas, Vidmantas Remeikis

#### MODELING OF ISOTOPIC CHARACTERISTICS FOR THE CHERNOBYL NPP NUCLEAR FUEL AND COMPARISON WITH EXPERIMENTAL RESULTS OF RELEASED ELEMENTS AFTER ACCIDENT

S u m m a r y

To solve the problems of handling, storage and disposal of the RBMK spent nuclear fuel (SNF) it is necessary to know exact the nuclide composition, the content of actinides and fission products, and radiation characteristics of irradiated SNF. Experimental investigation of such characteristics is an expensive and complicated process, so numerical methods are widely used. Using the SCALE system of computer codes, modeling of isotopic characteristics of the Chernobyl NPP nuclear fuel after the accident was performed. A comparison of calculation results with experimental studies of the released nuclides after the Chernobyl NPP accident is presented.

**Key words:** RBMK spent nuclear fuel, characteristics of spent nuclear fuel, actinides, fission products

Артурас Шмайжис, Повилас Пошкас, Видмантас Ремейкис

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОТОПОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ИХ СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, ВЫБРОШЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ

Р е з ю м е

Для успешного решения проблем, связанных с обращением, хранением и захоронением отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) реактора РБМК, необходимо знать состав и количество образовавшихся актиноидов, продуктов деления и их радиационные характеристики. Получение таких характеристик экспериментальным путем является очень дорогим и сложным, поэтому широко применяются методы численного моделирования. С помощью системы компьютерных кодов SCALE выполнено моделирование характеристик ядерного топлива, находившегося в реакторе Чернобыльской АЭС в момент аварии. Представлено сравнение результатов расчета характеристик выброшенных изотопов после аварии с имеющимися расчетными и экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** отработавшее ядерное топливо РБМК, характеристики ядерного топлива, актиноиды, продукты деления