

# Gaisrų pavojaus Ignalinos AE pirmajame bloke analizė

## 3. Išsami analizė ir apibendrinantys rezultatai

**Povilas Poškas,**

**Vytautas Šimonis,**

**Rimantas Zujus,**

**Raimundas Kilda,**

**Jokūbas Kolesnikovas,**

**Arūnas Sirvydas**

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

Darbe pateikta Ignalinos IAE I bloko atskirų svarbiausių patalpų gaisrų pavojaus išsamos analizės metodika ir kai kurie rezultatai. Atliktas saugai svarbių patalpų, neatrinktų pagal atrankos algoritmus, išsamus inžinerinis gaisrų pavojaus vertinimas bei kai kurių patalpų kompiuterinis gaisrų modeliavimas, siekiant įvertinti jų atitikimą priešgaisrinės saugos reikalavimams.

Apibendrinus visapusiškos gaisrų pavojaus analizės rezultatus konstatuota, kad nors kai kurios IAE I bloko patalpos ne visai atitinka šiuolaikines tarptautines rekomendacijas naujiems branduoliniams objektams, tačiau patikimumo lygis yra pakankamas, įvertinus rankinio gaisrų gesinimo ir kitų alternatyvių priemonių patikimumą. Suformuluota keletas pasiūlymų, kaip pagerinti priešgaisrinę saugą tam tikrose skirtingų kategorijų patalpose, akcentuojant organizacines ir kokybės užtikrinimo priemones.

Panaudojus gaisrų pavojaus analizės IAE I bloke patirtį, metodiką, parengtas analizės priemonės bei gautus rezultatus ir įvertinus savitus II bloko ypatumus, su kur kas mažesnėmis sąnaudomis gali būti atlikta pastarojo bloko bei kitų objektų priešgaisrinės saugos analizė.

**Raktažodžiai:** Ignalinos AE, gaisrų pavojaus analizė, branduolinė ir priešgaisrinė sauga, patalpų kategorijos ir grupės, išsami analizė, modeliavimas

### 1. ĮŽANGA

Nors Ignalinos AE (IAE) I blokas jau galutinai sustabdytas 2004 12 31, o antrąjį numatoma sustabdyti iki 2010 m., pats uždarymo procesas tęsis kelis dešimtmečius, todėl IAE išlieka ir išliks vienu pavojingiausių energetiniu objektu Lietuvoje.

Gaisrų pavojaus analizei atominėse elektrinėse visame pasaulyje skiriama daug dėmesio. Tokios analizės pagrindinis tikslas – parodyti, kad svarbiausių sistemų išdėstymas ir esančios priešgaisrinės gaisrų saugos priemonės užtikrina atominės elektrinės branduolinę saugą, atitinka tarptautines saugos rekomendacijas [1–3] ir nacionalinius priešgaisrinės saugos reikalavimus [4], parengtus vadovaujantis Bendraisiais atominių elektrinių saugos užtikrinimo nuostatais, Atominių elektrinių reaktoriaus įrenginių branduolinės saugos taisyklėmis, Bendrosiomis priešgaisrinės saugos taisyklėmis, Energetikos objektų priešgaisrinės saugos taisyklėmis bei Priešgaisrinės saugos Ignalinos AE taisyklėmis.

2001–2003 m. Lietuvos energetikos institutas kartu su Švedijos specialistais atliko kompleksinę visų pagrindinių IAE I bloko sistemų ir patalpų su saugos elementais, taip pat gretimų pagrindinėms bei kitų pavojingusių gaisrui patalpų gaisrų pavojaus analizę. Ši analizė buvo viena sėkmingo energetinių blokų licencijavimo sąlygų. Šio darbo pagrindu parengta trijų straipsnių serija

apie gaisrų pavojaus analizės metodiką ir pagrindinius rezultatus.

Pirmajame šios serijos straipsnyje [5] pateikti pagrindiniai branduolinės saugos vertinimo principai ir kriterijai, gaisrų pavojaus įvertinimo metodologija. Pateikti kompiuterinių programų paketo – sukurtos duomenų bazės ir patalpų atrankos algoritmų, reikalingų analizei, – aprašymas bei pirminės analizės rezultatai. Sukurtoji duomenų bazė ir patalpų atrankos algoritmai įgalino viena-reikšmiškai, optimaliai ir sparčiai atlikti surinktų duomenų analizę. Analizei optimizuoti patalpos sugrupuotos pagal saugos sistemas ir suskirstytos į kategorijas/grupes pagal rezervinius (dubliuojančius) saugos elementus jose. Visos IAE patalpos, priklausomai nuo saugos sistemų elementų rezervavimo, klasifikuotos į 3 kategorijas/grupes (grupėms priklauso patalpos iš priešgaisrinės saugos sistemų):

1 kategorija/grupė – patalpos, turinčios saugos sistemų elementų, atliekančių saugos funkcijas (gaisro metu), ir neturinčios jokių rezervinių elementų kitose patalpose;

2 kategorija/grupė – patalpos, turinčios saugos sistemų elementų, atliekančių saugos funkcijas (gaisro metu), ir turinčios rezervinius elementus vienoje kitoje patalpoje;

3 kategorija/grupė – patalpos, turinčios saugos sistemų elementų, atliekančių saugos funkcijas (gaisro metu),

ir turinčios rezervinius elementus bent dviejose atskirose patalpose.

Ignalinos AE buvo nagrinėjamos ne tik pagrindinės patalpos, svarbios saugai ir turinčios saugos sistemų elementų, bet ir gretimos pagrindinėms bei kitos padidinto pavojaus patalpos (degiųjų medžiagų sandėliai ir pan.), neturinčios saugos sistemų elementų. Kilus gaisrui šiose patalpose, gali būti paveiktos pagrindinės patalpos, svarbios saugai. Todėl visos šios patalpos buvo sąlyginai priskirtos 4 kategorijai.

Antrajame šios serijos straipsnyje [6] pateiktas priešgaisrinės saugos, ventilacijos sistemų bei antrinių efektų poveikio saugai įvertinimas. Sukurti ir aprašyti supaprastinti priešgaisrinės apsaugos, ventilacijos ir antrinių efektų įvertinimo algoritmai, įgalinantys paspartinti IAE gaisrų pavojaus analizę.

Šiame, baigiamajame, serijos straipsnyje pateikiama kai kurių svarbiausių patalpų išsamos analizės metodologija bei apibendrinantys visos IAE I bloko gaisrų pavojaus analizės rezultatai.

## 2. KAI KURIŲ PATALPŲ INŽINERINIS VERTINIMAS

Visos 1-os kategorijos/grupės patalpos ir dalis 2-os bei 3-ios kategorijos/grupės patalpų, neatrinktų pagal atrankos algoritmus (iš viso 84 patalpos), buvo analizuojamos išsamiai, numačius vienokį ar kitokį hipotetinio gaisro scenarijų ir įvertinant savituosius patalpų ypatumus. Paprastai, atliekant išsamų inžinerinį patalpų vertinimą, nustatoma:

- degimo metu išsiskiriančios šilumos kiekis;
- dujų sluoksnio temperatūra;
- liepsnos fakelo temperatūra;
- liepsnos kontaktas;
- šilumos srautas spinduliavimu;
- matomumas;
- gaisro aptikimo ir signalizacijos sistemų būklė;
- rankinių gaisro gesinimo priemonių įvertinimas;
- automatinės gesinimo sistemos būklė.

**Degimo metu išsiskiriančios šilumos kiekis.** Pilnai išsivysčiusio gaisro degimo metu išsiskiriančios šilumos kiekis  $Q$  gali būti apskaičiuotas pagal formulę [7]:

$$Q = m \cdot \Delta h_c \cdot A \cdot \chi \quad (\text{kW}); \quad (1)$$

čia  $m$  – kuras, kuris garuoja nuo paviršiaus,  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;  $\Delta h_c$  – kuro energijos kiekis  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;  $A$  – degimo plotas  $\text{m}^2$ ;  $\chi$  – degimo efektyvumas (alyvoms apytiksliai 60–70%).

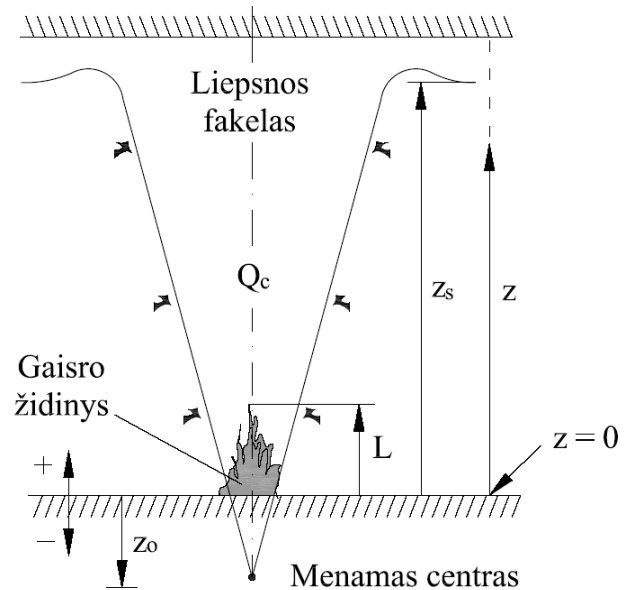
**Dujų sluoksnio temperatūra.** Temperatūra dujų sluoksnyje, arba dujų temperatūra bet kuriame patalpos aukštyje, priklauso nuo gaisro scenarijaus, patalpos konfigūracijos, ventilacinių sistemų būklės bei aplinkos sąlygų ir dažnai nustatoma naudojant kompiuterinį gaisrų modeliavimą (tai pateikiama kitame skyrelyje) arba rankiniu būdu skaičiuojant liepsnos fakelo temperatūrą įvairiame aukštyje.

**Liepsnos fakelo temperatūra.** Skaičiuojant rankiniu būdu, priklausomai nuo gaisro scenarijaus, patalpos konfigūracijos yra taikomi skirtingi fakelo modeliai [8]: *idealus* – tinkamas silpniems gaisrams, *Zukowski* – naudojamas nedidelėse patalpose, *Thomas* – naudojamas tais atvejais, kai šaltinio skersmuo yra didesnis už jo aukštį, *Heskestad* – tinkamas stipriems gaisrams.

Liepsnos fakelo temperatūros skaičiavimui pagal *Heskestad* fakelo modelį (1 pav.) ašine kryptimi rekomenduojama formulė [8]:

$$\Delta T_0 = 25 \left[ \frac{Q^{2/5}}{(z - z_0)} \right]^{5/3} \quad (^\circ\text{C}); \quad (2)$$

čia  $z$  ir  $z_0$  – atitinkamai einamasis ir menamo centro atstumas nuo grindų paviršiaus m. Pažymėtas (1 pav.) konvekcinis šilumos srautas  $Q_c$  paprastai sudaro apie 70% nuo viso degimo metu išsiskiriančios šilumos kiekio, t. y.  $Q_c = 0,7Q$ .



1 pav. Pagrindinės liepsnos fakelo charakteristikos

**Liepsnos kontaktas.** Liepsnos kontaktas, arba kitaip liepsnos aukštis, reikalingas patikrinti, ar gaisras tiesiogiai nepaveiks pagrindinių bei rezervinių saugos sistemų elementų. Vidutinis liepsnos aukštis pagal *Heskestad* fakelo modelį gali būti apskaičiuojamas pagal formulę [8]:

$$L = 0,235Q^{0,4} - 1,02D \quad (\text{m}); \quad (3)$$

čia  $D$  – degimo šaltinio skersmuo  $((4A/\pi)^{0,5})$  m;  $A$  – degimo plotas  $\text{m}^2$ .

**Šilumos srautas spinduliavimu.** Šis srautą sukelia ne tik liepsna, bet ir karštų dujų sluoksnis. Šilumos srautas spinduliavimu nuo liepsnos link objekto gali būti apskaičiuotas traktuojant liepsną, kaip stačiakampį, ir įtraukiant konfigūracijos faktorių [9]. Skaičiuojama pagal įprastą spinduliavimo formulę:

$$q = \Phi \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_1^4 - T_2^4) \text{ (W/m}^2\text{);} \quad (4)$$

čia  $\Phi$  – konfigūracijos faktorius, nusakantis liepsnos ir objekto geometrinį sąryšį,  $\sigma$  – Bolcmano konstanta ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \times \text{K}^4)$ ),  $\varepsilon$  – juodumo laipsnis,  $T_1$  – liepsnos temperatūra K,  $T_2$  – objekto temperatūra K.

**Matomumas.** Tais atvejais, kai personalas yra priverstas dirbti (pvz., gesinti gaisrą) patalpoje, kurioje kilęs gaisras, matomumas tampa labai svarbiu veiksniumi. Degimo aplinkos optinis tankis randamas pagal priklausomybę [9]:

$$D_L = \frac{D_0 \cdot W}{V} \text{ (dB/m);} \quad (5)$$

čia  $D_0$  – medžiagos dūmų potencialas ( $\text{dB/m}) \times \text{m}^3/\text{g}$ ;  $W$  – degančios medžiagos kiekis g;  $V$  – patalpos tūris  $\text{m}^3$ . Išsprendus (5) lygtį  $D_L = 1$ , nustatomas degių medžiagų kiekis, ribojantis matomumą iki 10 m ir apskaičiuojamas laikas, per kurį patalpoje atsirastų kritinės matomumo sąlygos.

**Gaisro aptikimo ir signalizacijos sistemų būklė.** Vertinant gaisro aptikimo ir signalizacijos sistemas turi būti patikrinta šių sistemų atitikimas standartų reikalavimams, patikimumas, priešgaisrinė apsauga. Taip pat turi būti nustatytas laikas, kada pradės veikti detektoriai, žinant jų išdėstymą, suveikimo indeksą, suveikimo temperatūrą ir patalpos temperatūrą.

**Rankinio gaisro gesinimo priemonių įvertinimas.** Vertinant rankines gaisro gesinimo priemones būtina atlikti gaisrų gesinimo šiomis priemonėmis galimybių analizę. Nustatomas gesintuvų tipas, jų techninės charakteristikos, atitikimas standartų reikalavimams, patikimumas, antrinių efektų pasireiškimo galimybė ir pasekmės gaisrų gesinimo metu. Taip pat turi būti palygintas suminis rankinio gaisro gesinimo laikas su laiku, kuriam esant patalpoje gali susidaryti kritinės sąlygos. Laikas, būtinas rankiniam gaisro gesinimui, turi būti apskaičiuotas sudedant gaisro aptikimo, personalo ir priešgaisrinės komandos atvykimo bei faktinio gesinimo laikus.

**Automatinės gesinimo sistemos būklė.** Vertinant automatinio gaisro gesinimo sistemos būklę, turi būti išanalizuotas atitikimas standartų reikalavimams, patikimumas, antriniai efektai, gesinančių medžiagų kiekis ir laikas, per kurį šios medžiagos bus sunaudotos, šios sistemos priešgaisrinė apsauga. Taip pat turi būti palygintas suminis automatinio gaisro gesinimo laikas su laiku, kuriam esant patalpoje gali susidaryti kritinės sąlygos.

Atlikus saugai svarbių patalpų analizę pagal aprašytą metodologiją, būdingi parametrai palyginti su kritinėmis reikšmėmis ir pateiktos konkrečios rekomendacijos kai kurių patalpų priešgaisrinei saugai pagerinti.

### 3. GAISRŲ SVARBIOSE PATALPOSE MODELIAVIMAS

Gaisrams patalpose modeliuoti dažniausiai naudojamos kompiuterinės takijų medžiagų dinamikos (CFD) arba

zonų modelių programos. CFD programos (FLOW-3D, JASMINE, KAMELEON ir kt.) yra labai sudėtingos ir dažniausiai naudojamos, kai patalpa yra didelė, kai temperatūrų skirtumai tarp dujų sluoksnių yra nedideli ir kai patalpoje yra žymus turbulentiškumas.

Zonų modeliai dažniausiai naudojami dujų temperatūrai ir dujų sluoksnio aukščiams (kaip laiko funkcijoms) nustatyti. Zonų modeliai [10] vertina gaisro įtaką uždaroje patalpoje naudodamiesi ribotu zonų arba tūrių skaičiumi. Labiausiai paplitęs modelis yra vadinamasis dviejų zonų modelis, kuris padalija patalpą į du skirtingus kontrolinius tūrius – viršutinį prie lubų, sudarytą iš karštų degimo produktų, ir šaltą apatinį gryno (šviežio) oro tūrį. Pusiau empirinės išraiškos masei, energijai ir cheminėms medžiagoms skaičiuoti yra sprendžiamos viršutiniam ir apatiniam kontroliniams tūriams atskirai, o masės ir energijos mainai tarp šių zonų yra skaičiuojami naudojant balanso lygtis. Abu kontroliniai tūriai laikomi homogeniniais – temperatūra, tankis, slėgis ir kiti šių sluoksnių parametrai yra traktuojami kaip vidutiniai (suvidurkinti).

Kaip jau minėta, atliekant išsamų 84 patalpų inžinerinį vertinimą, svarbesnės iš jų buvo analizuojamos ne tik rankiniu būdu atliekant skaičiavimus, bet ir naudojant kompiuterinį dviejų zonų modelį CFAST [11]. Toliau pateikiamas konkretus gaisro modeliavimo pavyzdys vienoje iš tokių patalpų – elektrotechninėje patalpoje 411/2.

Tai antros kategorijos patalpa, kurios pagrindinė funkcija – užtikrinti avarinį elektros tiekimą bei kontroliuoti vandens debitą per reaktoriaus kontūrą. Patalpa yra  $20 \times 7 \times 3,5$  m dydžio (2 pav.). Kaip matyti 2 paveiksle, patalpoje yra nemažai elektros įrangos spintų (20 – pasienyje, 5 – viduryje) ir kampe – elektros kabelių lentyna. Palubėje išdėstyta 10 gaisro signalizatorių – dūmų detektorių.

Visų pirma sudaromas projektinis gaisro scenarijus. Konservatyviai priimame, kad vienu metu patalpoje galėtų užsidegti 5 elektros įrangos spintos. Kadangi viena elektrinės įrangos spinta degimo metu gali išskirti apie 200 kW [12] šilumos, tai degimo šiluma  $Q$  mūsų atveju gali siekti apie 1000 kW. Gaisro kabelių lentynoje šiuo atveju nenagrinėsime.

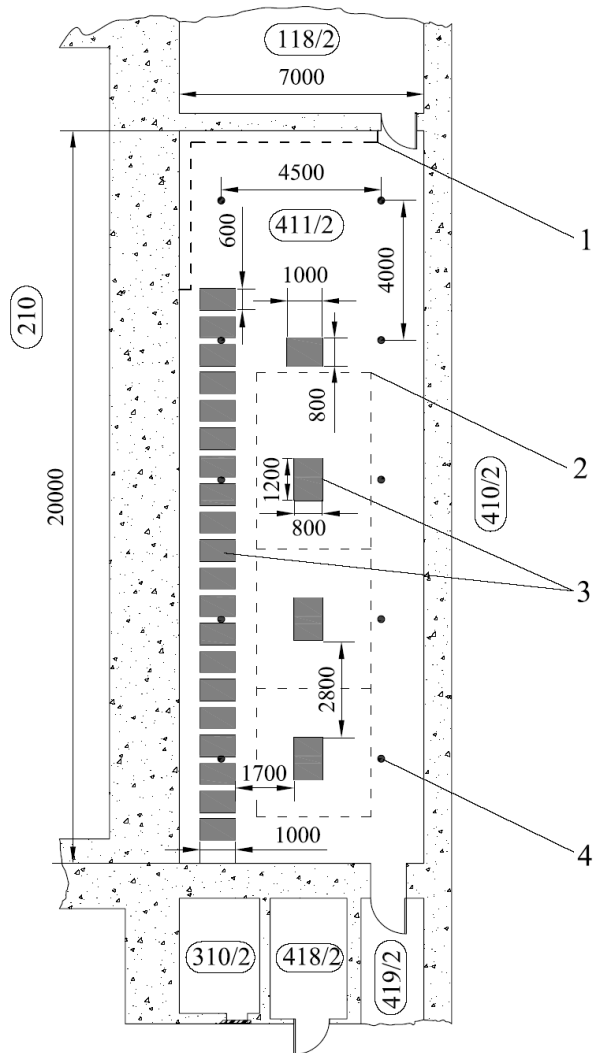
Dviejų zonų modeliui galioja lygtis [10]:

$$Q = \alpha \cdot t^2; \quad (6)$$

čia  $\alpha$  – gaisro augimo greičio koeficientas  $\text{kW/s}^2$ ;  $t$  – laikas, per kurį projektinio gaisro kreivė ( $Q = f(t)$ ) pasiekia nusistovėjusio degimo fazę, s.

Pagal [11] žinoma, kad elektrinės įrangos degimo intensyvumas yra vidutinis, tokiu atveju gaisro augimo greičio koeficientas  $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$ . Tada iš (6) lygties apskaičiuotas laikas, kada gaisro kreivė pasieks fazę, kai  $Q = Q_{\max} = \text{const}$ , bus  $t \approx 290$  s.

Atlikus kompiuterinį modeliavimą (3a pav.) gauta, kad projektinio gaisro kreivė susideda iš trijų fazių – augimo, pastovaus degimo ir gesimo. Rezultatai rodo, kad gaisro

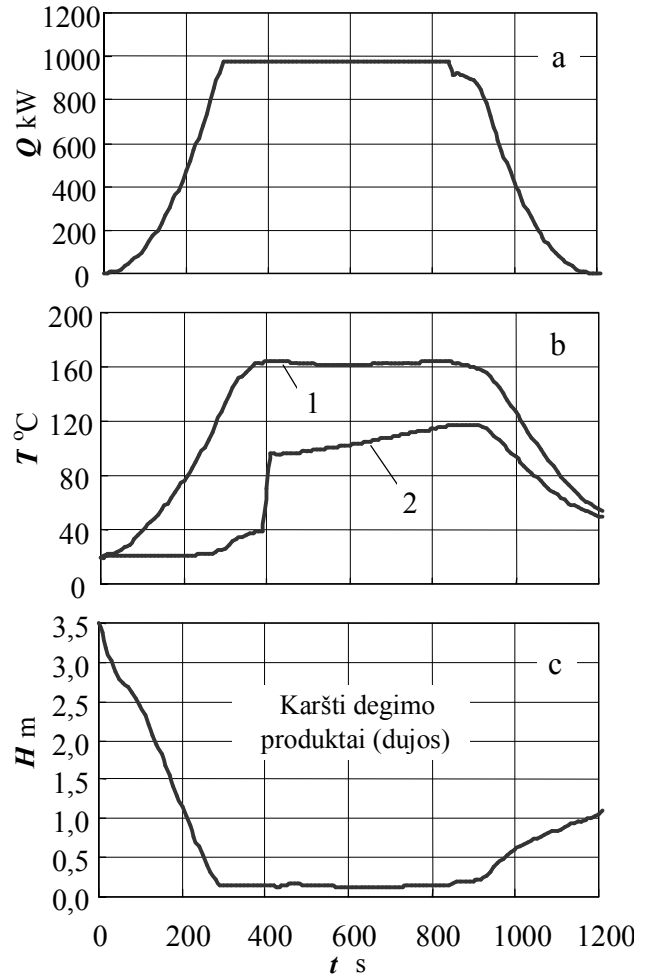


2 pav. Analizuojamos patalpos 411/2 eskizas: 1 – kabelių lentyna, 2 – metalinis aptvaras, 3 – elektros spintos, 4 – dūmų detektorius

augimo fazė tęsiasi apie 290 s nuo gaisro pradžios (kaip ir buvo suskaičiuota anksčiau). Po to prasideda ilgiausiai trunkanti pastovaus degimo fazė, kurios metu išskiriamas degimo šilumos kiekis pasiekia pastovią ir maksimalią  $\approx 1000$  kW reikšmę. Vėliau seka gesimo fazė. Praktiškai daugeliu atvejų priimama, kad pastovaus degimo fazė tęsiasi labai ilgai, ir gesimo fazės nepaisoma.

Kaip kinta karštų degimo produktų (dujų) viršutinio ir apatinio sluoksnių temperatūros, matyti 3b paveiksle. Per maždaug 6,5 minutes nuo gaisro pradžios viršutinio karštų degimo produktų sluoksnio temperatūra nuo  $20^{\circ}\text{C}$  pakyla iki maždaug  $160^{\circ}\text{C}$  ir pastovaus degimo fazėje yra pastovi. Toliau temperatūra mažėja ir gaisro pabaigoje dar siekia apie  $60^{\circ}\text{C}$ . Panašiai kinta ir apatinio dujų sluoksnio temperatūra, tik jos pastovioji dalis siekia apie  $100\text{--}120^{\circ}\text{C}$ .

Karštų degimo produktų sluoksnis, praėjus maždaug 5 minutėms nuo gaisro kilimo pradžios, užpildo didžiąją patalpos dalį ir išlieka pastovus pastovaus degimo fazėje (3c pav.). Gaisro gesimo fazės metu šis sluoksnis plonėja.



3 pav. Gaisro metu išsiskiriančios šilumos kiekio (a), karštų dujų viršutinio (1) ir apatinio (2) sluoksnių temperatūrų (b) bei karštų dujų sluoksnio aukščio (c) kitimas laike

Turint šiuos duomenis, galima spręsti, kokios sąlygos susidaro patalpoje kilus tokiam projektiniam gaisrui, įvertinti gaisro gesinimo galimybes, poveikį kitai įrangai, esančiai patalpoje, kritinių sąlygų (aukštos temperatūros ir karštų dujų sluoksnio aukščio) susidarymo greitį.

#### 4. APIBENDRINANTYS REZULTATAI

Apibendrinant ankstesniųjų [5, 6] ir pastarojo šios serijos straipsnių rezultatus, galima konstatuoti, kad IAE I bloko gaisrų pavojaus analizės metu atrinkta ir išanalizuota 26 svarbios saugai sistemos, kurios aprėpė 2131 patalpą. Atskyrus 412 patalpų, kurios buvo tinkamai išanalizuotos anksčiau, šiame etape išanalizuota 1719 patalpų, tarp kurių: 79 patalpos buvo 1-os kategorijos/grupės, 25 patalpos – 2-os kategorijos/grupės, 141 patalpa – 3-ios kategorijos/grupės ir 1474 patalpos – 4-os kategorijos. 84 patalpos (penkios 2-os bei 3-ios kategorijos/grupės ir visos kitos 1-os kategorijos/grupės) išsamiai išanalizuotos pagal anksčiau pateiktą metodiką, o likusios 1637 patalpos įvertintos pasitelkus pagrindinius arba supaprastintus (4-os kategorijos patalpoms), kai

vertinami tik gaisro plitimo į 1–3 kategorijos/grupės patalpas barjerai, algoritmus.

Atlikus įvairiapusę saugos, priešgaisrinės apsaugos, ventilacijos sistemų, rankinio gaisrų gesinimo priemonių, gaisrų plitimo galimybių ir didžiosios dalies svarbiausių patalpų analizę gaisrų pavojaus požiūriu, taikant tarptautinę metodologiją ir atsižvelgiant į Lietuvos Respublikos normas, galima konstatuoti, kad IAE I bloko priešgaisrinė sauga tenkina pagrindinius „apsaugos gilyn“ koncepcijos tikslus (gaisrų kilimo užkirtimas, operatyvus kylančių gaisrų nustatymas ir jų gesinimas bei gaisrų pasekmių minimizavimas) ir užtikrina pagrindinius branduolinės saugos reikalavimus (saugus reaktoriaus sustabdymas, liekamosios šilumos pašalinimas iš reaktoriaus aktyviosios zonos ir galimų radioaktyviųjų medžiagų išlakų sumažinimas ir išlaikymas leistinose ribose) šiuo požiūriu. Šis tvirtinimas pagrįstas su tam tikru konservatyvumu gautais apibendrinimais:

- IAE turi gerai išplėtotą priešgaisrinės saugos koncepciją, užtikrinančią gaisrų aptikimą ir jų gesinimą keiliais alternatyviais būdais;
- pagrindinės saugos funkcijos užtikrinamos visose 1-os ir 2-os kategorijos/grupės patalpose, įvertinus kai kurias išsamios patalpų analizės pastabas;
- 3-ios kategorijos/grupės ir 4-os kategorijos patalpose, įvertinus kai kurias pastabas, gaisras negali išplisti iki tokio lygio, kad pakenktų pagrindinių ir rezervinių saugos sistemų elementų darbui;
- ankstyvojo gaisrų aptikimo tikimybė ir jų gesinimo rankinio gesinimo priemonėmis bei priešgaisrinės gelbėjimo tarnybos aprūpinimas techninėmis priemonėmis ir parengtis yra pakankami. Tai buvo patvirtinta analizuojant hipotetinių gaisrų gesinimą specialiais atvejais;
- instaliuotos gaisrų aptikimo ir gesinimo sistemos yra pakankamos, įvertinus kai kurias pastabas;
- elektrinės pastatai ir ventilacijos sistemos turi tinkamus barjerus, ribojančius gaisro ir dūmų sklidimą: nėra labai ilgų koridorių, kanalų ar panašių objektų, kuriais galėtų plisti gaisras;
- išsami analizė parodė, kad 1–3 kategorijos/grupės patalpose antriniai efektai gali būti nevertinami, kadangi jie neturės įtakos gaisrų plitimui.

Pirmasis IAE blokas ne visai atitinka šiuolaikines tarptautines rekomendacijas naujiems branduoliniams objektams, tačiau patikimumo lygis yra pakankamas, įvertinus rankinio gaisrų gesinimo ir kitų alternatyvių priemonių patikimumą. Formalus neatitikimas yra ir kitose Vakarų Europos atominėse elektrinėse, kuris sprendžiamas modernizuojant priešgaisrinę apsaugą bei kitomis kompensacinėmis priemonėmis.

Būdingos rekomendacijos priešgaisrinei būklei atskirose patalpose pagerinti buvo: instaliuoti automatinę gaisrų signalizaciją; instaliuoti automatinį gaisrų gesinimą; pastatyti rankines gesinimo priemones; įrengti priešgaisrinius vožtuvus ventilacijos sistemose; padidinti atskirų struktūrinių elementų (durų, statybinių konstrukcijų, ventilacijos kanalų, priešgaisrinių vožtuvų ir pan.) atsparumą ugniai iki norminių reikšmių; nešančias metalų kon-

strukcijas, kabelius padengti ugniai atspariomis pastomis, pašalinti galimus antrinius efektus užhermetizuojant kabelių bei vamzdynų pralaidas, pašalinant plyšius ir užsandarinant duris, įrengiant durų slenksčius, suremontuojant ar įrengiant naujas drenažų sistemas, pašalinant lengvai užsidegančias medžiagas; pakeisti degių grindų dangą.

Dalis rekomendacijų 1-os ir 2-os kategorijos/grupės patalpoms, kurios priešgaisrinio požiūriu šiuo metu atitinka reikalavimus, tačiau skirtos pilnesniam patikimumui pasiekti. Didelė dalis rekomendacijų 3-ios kategorijos/grupės bei 4-os kategorijos patalpoms pasiūlytos tuo atveju, jei IAE I blokas dirbtų ilgesnį laikotarpį.

Pasiūlytos pirmosios organizacinės ir kokybės užtikrinimo priemonės, nereikalaujančios didelių investicijų, ir galimos įgyvendinti vėliau priemonės. Nepaisant to, kad IAE I blokas jau sustabdytas, tačiau kol branduolinis kuras yra reaktoriuje ir nepašalintos radioaktyviosios atliekos, gaisrai kels pavojų tiek branduolinei, tiek radiacinei saugai, todėl atitinkamos priešgaisrinės apsaugos priemonės yra būtinos.

IAE I ir II blokai yra labai panašūs, todėl panaudojus gaisrų pavojaus I bloke analizės patirtį, metodiką, parengtas analizės priemones bei gautus rezultatus ir įvertinus specifinius II bloko ypatumus bei atlikus gerokai mažesnio kiekio patalpų pasirinktinę analizę, galima įvertinti pastarojo bloko bei kitų objektų priešgaisrinę saugą.

## 5. IŠVADOS

1. Darbe pateikta IAE I bloko kai kurių svarbiausių patalpų gaisrų pavojaus išsamios analizės metodika ir kai kurie rezultatai. Atliktas saugai svarbių patalpų, neatrinktų pagal atrankos algoritmus, išsamus inžinerinis gaisrų pavojaus vertinimas bei kai kurių patalpų kompiuterinis gaisrų modeliavimas, siekiant įvertinti jų atitikimą priešgaisrinės saugos reikalavimams.

2. Apibendrinus visapusiškos gaisrų pavojaus analizės rezultatus konstatuota, kad nors kai kurios IAE I bloko patalpos ne visai atitinka šiuolaikines tarptautines rekomendacijas naujiems branduoliniams objektams, tačiau patikimumo lygis yra pakankamas, įvertinus rankinio gaisrų gesinimo ir kitų alternatyvių priemonių patikimumą. Suformuluota keletas pasiūlymų, kaip pagerinti priešgaisrinę saugą kai kuriose skirtingų kategorijų patalpose, akcentuojant organizacines ir kokybės užtikrinimo priemones.

3. Panaudojus gaisrų pavojaus I bloke analizės patirtį, metodiką, parengtas analizės priemones bei gautus rezultatus ir įvertinus specifinius II bloko ypatumus, su gerokai mažesniais sąnaudomis gali būti atlikta pastarojo bloko bei kitų objektų priešgaisrinės saugos analizė.

Gauta 2005 09 23  
Parengta 2006 10 30

## Literatūra

1. Fire protection in nuclear power plants. A safety guide. Safety Series No. 50-SG-D2 (Rev. 1). Vienna: IAEA, 1992.

2. Evaluation of fire hazard analyses for nuclear power plants. A safety practice. Safety Series No. 50-P-9. Vienna: IAEA, 1995.
3. Preparation of fire hazard analyses for nuclear power plants. Safety Reports Series No. 8. Vienna: IAEA, 1998.
4. Branduolinės energetikos objektų, svarbių saugai sistemų priešgaisrinės saugos reikalavimai (P-2002-01). Patvirtinta VATESI viršinio 2002 10 11 įsakymu Nr. 42 // Valstybės žinios. 2002. Nr. 100-4486.
5. Poškas P., Šimonis V., Zujus Rim., Kilda R., Kolesnikovas J., Sirvydas A. Gaisrų pavojaus Ignalinos AE pirmajame bloke analizė. 1. Pagrindiniai principai, kompiuterinių programų paketas, pirminė analizė // Energetika. 2003. Nr. 4. P. 86–93.
6. Poškas P., Šimonis V., Zujus Rim., Kilda R., Kolesnikovas J., Sirvydas A. Gaisrų pavojaus Ignalinos AE pirmajame bloke analizė. 2. Priešgaisrinės saugos, ventilacijos sistemų ir antrinių efektų analizė // Energetika. 2004. Nr. 1. P. 41–48.
7. Quintiere J. G. Compartment fire modelling / The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 2nd edition. Section 3, Chapter 5. Boston, USA, 1995.
8. Karlsson B., Quintiere J. G. Enclosure Fire Dynamics. New York: CRC Press LLC, USA, 2000.
9. Drysdale D. An Introduction to Fire Dynamics. Second edition. Chichester: John Wiley and Sons, England, 2002.
10. Nelson H. E. FPETOOL: Fire Protection Engineering Tools for Hazard Estimation. NISTIR 4380. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA, 1990. P. 93–100.
11. Peacock R. D., Reneke P. A., Jones W. W., Bukowski R. W., Forney G. G. A User's Guide for FAST: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport. NIST. Special Publication 921. Gaithersburg, USA, 1997.
12. Mangs J., Keski-Rahkonen O. Full Scale Fire Experiments on Electronic Cabinets. VTT publications 186. Espoo: VTT Building Technology, Finland, 1994.

**Povilas Poškas, Vytautas Šimonis, Rimantas Zujus,  
Raimundas Kilda, Jokūbas Kolesnikovas,  
Arūnas Sirvydas**

### **FIRE HAZARD ANALYSIS AT THE FIRST UNIT OF THE IGNALINA NUCLEAR POWER PLANT 3. DETAILED ANALYSIS AND GENERALIZED RESULTS**

#### **S u m m a r y**

The methodology and some results of a detailed analysis in the selected main rooms at the First Unit of the Ignalina Nuclear Power Plant are presented. A detailed engineering analysis and computer fire modeling were performed for the main rooms which had not passed the screening algorithms, to assess their compliance with fire protection requirements.

It has been stated that not all rooms of the INPP First Unit fully comply with the international recommendations for new nuclear plants, but they have an acceptable safety level, considering the credit that can be taken from manual fire fighting and other alternative means. A set of suggestions was recommended how to improve the fire safety of different rooms, highlighting the organizational and quality assurance means.

Fire hazard analysis at the INPP Second Unit and other plants can be performed also, but with essentially less inputs using the experience of such analysis at the First Unit, its methodics, means of analysis and results, considering the specific features of the Second Unit.

**Key words:** Ignalina NPP, fire hazard analysis, nuclear and fire safety, room categories and groups, detailed analysis, modeling

**Повилас Пошкас, Витаутас Шимонис, Римантас Зуюс,  
Раймундас Килда, Йокубас Колесниковас,  
Арунас Сирвидас**

### **АНАЛИЗ ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПЕРВОМ БЛОКЕ ИГНАЛИНСКОЙ АЭС 3. ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОБОБЩАЮЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

#### **Р е з ю м е**

Представлены методика и некоторые результаты детального анализа пожарного риска некоторых важнейших помещений первого блока Игналинской АЭС. Осуществлены детальная инженерная оценка пожарного риска и компьютерное моделирование пожаров в помещениях, важных для безопасности и не прошедших алгоритмов отбора, в целях определения их соответствия требованиям противопожарной безопасности.

В результате детального анализа констатировано, что хотя отдельные помещения первого блока ИАЭС не вполне соответствуют современным международным рекомендациям относительно новых ядерных объектов, их безопасность следует признать приемлемой, учитывая надежность ручных средств пожаротушения и других альтернативных способов. Для повышения противопожарной безопасности в отдельных помещениях различных категорий предложен комплекс мер, в основном организационных и обеспечивающих качество противопожарной защиты.

Используя опыт анализа пожарного риска в первом блоке ИАЭС, его методику, средства и полученные результаты, с учетом специфических особенностей второго блока, анализ пожарного риска в последнем, а также и на других объектах можно осуществить со значительно меньшими затратами.

**Ключевые слова:** Игналинская АЭС, анализ пожарного риска, ядерная и противопожарная безопасность, категории и группы помещений, детальный анализ, моделирование