



IGNALINOS AE SAUGOS ANALIZĖ: MODELIAI IR REZULTATAI

E. Ušpuras

Ignalinos AE mokslinė saugumo analizės grupė (ISAG)

Pateiktos Ignalinos AE mokslinės saugumo analizės grupės tyrimų kryptys, susijusios su Ignalinos AE saugos įvertinimu, aprašomi naudojami modeliai bei pagrindiniai darbai, atlikti per pastaruosius metus.

1. Įvadas

Ignalinos AE mokslinė saugumo analizės grupė (ISAG) įsteigta 1992 m. kovo 19 d. Lietuvos Vyriausybės potvarkiu Nr. 272p. Tai pirmoji mokslinės techninės paramos organizacija Lietuvoje, atliekanti deterministinį ir tikimybinį branduolinių jėgainių saugos įvertinimą. Atkūrus šalies nepriklausomybę ir Ignalinos AE perėjęs Lietuvos jurisdikcijon, ISAG darbuotojai ne tik įsisavino šiuolaikinius, pripažintus pasaulyje kompiuterinius programų paketus (kodus) termohidraulinių ir neutroninės fizikos procesų modeliavimui, tikimybinei bei struktūrinei analizei, sukūrė atitinkamus Ignalinos AE analitinius fizikinius modelius, bet ir tapo moksliniais techniniais konsultantais Lietuvos Respublikos Vyriausybei, VATESI, Ignalinos AE specialistams bei lygiaverčiais partneriais užsienio ekspertams ir tarptautinėms organizacijoms, kurios padeda gerinti Ignalinos AE saugos lygį. ISAG savarankiškai ir kartu su Vakarų ekspertais atliko visą eilę tyrimų Ignalinos AE saugos klausimais. Pastaruoju metu susiformavo šios pagrindinės grupės tyrimų kryptys:

- termohidraulinė avarinių ir pereinamųjų procesų analizė;
- Ignalinos AE avarių lokalizacijos sistemos (ALS) ir kitų patalpų termohidraulinis įvertinimas;
- Ignalinos AE statybinių konstrukcijų, reaktoriaus aušinimo kontūro vamzdynų ir kitų elementų struktūrinė analizė;

- RBMK-1500 reaktoriaus aktyviosios zonos modeliavimas;
- Ignalinos AE tikimybinė saugos analizė (TSA);
- grafitinio klojinio ir technologinių kanalų senėjimo bei tarpelio tarp jų užsidarymo įtakos saugai įvertinimas;
- sistemos vienetinių gedimų analizė ir inžinerinis įvertinimas.

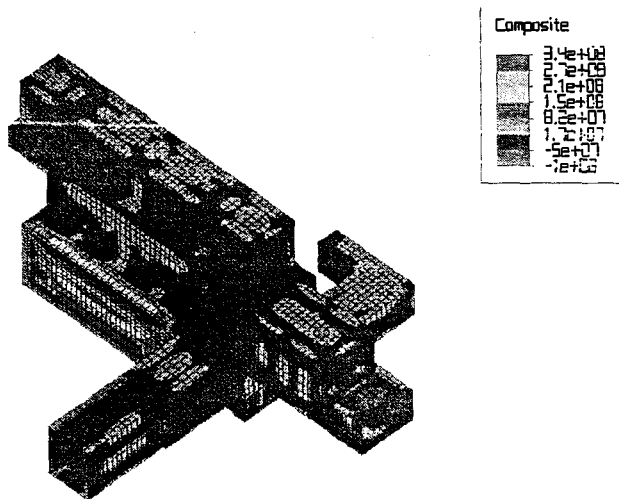
Grupės specialistai dalyvavo Ignalinos AE 2-ojo bloko TSA projekte BARSELINA, kuriame pirmą kartą buvo atlikta AE su RBMK tipo reaktoriais tikimybinė saugos analizė (1992-1996 m.), recenzuojant “Ignalinos saugos analizės ataskaitą”, kurioje Ignalinos AE saugos lygis buvo įvertintas panaudojant Vakarų metodologiją, standartus ir kompiuterinius kodus (1995-1997 m.), kartu su Merilendo universiteto specialistais atliko išsamų termohidraulinį Ignalinos AE ALS įvertinimą (1995-1996 m.). ISAG darbuotojai 1998 m. pagal sutartis su Ignalinos AE, sėkmingai užbaigė ALS ir reaktoriaus aušinimo sistemos (RAS) vientisumo saugos įvertinimus, kartu su Parsons Power (JAV) kompanija atliko papildomos avarinės stabdymo sistemos (DAZ) analitinį pagrindimą bei parinko šios sistemos suveikimo ribas, o su SCIENTECH (JAV) bei Valstybinės informacinės technologijos instituto specialistais atliko DAZ sistemos saugos pagrindimą, pagal sutartis su VATESI atliko dokumentų, susijusių su “Ignalinos saugos pagerinimo programa Nr. 2”, Ignalinos AE 1-ojo bloko licencijavimu ir kt., ekspertizę.

Šiame straipsnyje trumpai aptarti pagrindiniai ISAG darbai, atlikti 1998 m.

2. Ignalinos ALS vientisumo saugos pagrindimas

Šio darbo tikslas buvo atlikti Ignalinos AE avarių lokalizavimo sistemos struktūrinę analizę. To pareikalavo Ignalinos AE saugumo įvertinimo Žiuri, remiantis “Ignalinos saugos analizės ataskaita” ir jos nepriklausomos recenzijos grupių rekomendacijomis. ALS saugumo pagrindimas apima visas projektines avarijas. Tuo tikslu buvo atlikta visų projektinių avarių analizė kompiuterinės programos RELAP5 pagalba ir buvo nustatyta, kad di-

džiausias radioaktyvių produktų išmetimas ir didžiausias slėgis ALS patalpose susidarys maksimalios projektinės avarijos (MPA) atveju, t.y. įvykus slėgimo kolektoriaus giljotiniam trūkiui. Šiame darbe ALS struktūrinė analizė atlikta MPA atveju. ALS saugumo pagrindimas – tai kompleksinis tyrimas, reikalaujantis įvairių sričių specialistų pastangų. Atlikta kompleksinė Ignalinos AE ALS sau-



1 pav. Maksimalių normalinių įtempimų (Pa) pasiskirstymas ALS atspariųjų blokų sienose

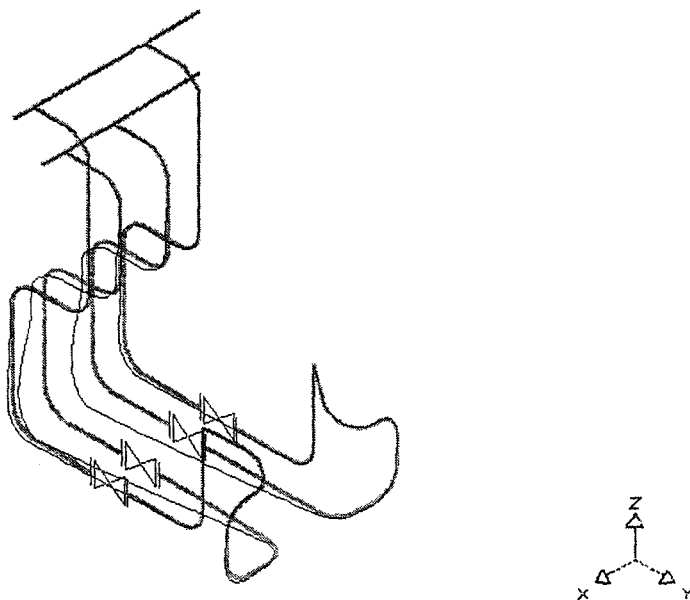
gumo analizė, apimanti eksploatacinio patyrimo analizę, inžinerinį įvertinimą, termohidraulinius ir struktūrinius skaičiavimus. Gauti skaičiavimo ir atliktos neardančios kontrolės rezultatai, eksperimentiniai betono ir armatūrinių stygų tyrimai neatskleidė svarbiausių trūkumų, dėl kurių negalima būtų tolesnė Ignalinos AE 1 bloko ALS eksploatacija. Parodyta, kad ALS atspariųjų blokų ir bokštų statybinių konstrukcijų struktūrinis vientisumas MPA atveju nebus pažeistas. 1 pav. yra parodyta maksimalių normalinių

įtempimų pasiskirstymas atspariųjų blokų sienose, atlikus netiesinę analizę, panaudojant NEPTUNE kodą.

3. Ignalinos AE reaktoriaus aušinimo sistemos vientisumo saugos pagrindimas

Vykstant Ignalinos AE 1-ojo energetinio bloko licencijavimo procesui, vienas svarbiausių klausimų yra reaktoriaus aušinimo sistemos saugumo pagrindimas. Tai buvo pareikalauta Ignalinos AE saugumo įvertinimo Žiuri, "Ignalinos saugos analizės ataskaitoje" ir jos nepriklausomos recenzijos grupių rekomendacijose. Pagrindiniu uždaviniu tapo tai, kad reikėjo įrodyti, jog Rusijoje suprojektuotas ir šiuo metu Ignalinoje dirbantys reaktoriai yra pakankamai saugūs, turi vientisą reaktoriaus aušinimą užtikrinančią sistemą ir gali būti saugiai toliau eksploatuojami. Saugumo pagrindimas atliktas remiantis ASME standartų reikalavimais. RAS saugumo pagrindime atliktas stiprumo atsargos įvertinimas normalios eksploatacijos sąlygomis, hidraulinių bandymų metu bei seisminio poveikio atveju, apžvelgti visi žinomi pereinamieji procesai normalios eksploatacijos ir projektinių avarių atvejais, įtakojantys reaktoriaus ilgaamžiškumą, nustatytos leistinos konstrukcijų pažeidimų ribos, įvertinant leistinus ir kritinius defektų dydžius. Struktūrinio vientisumo analizė buvo atlikta šiems daugkartinės priverstinės cirkuliacijos kontūro komponentams: būgnui separatoriui, būgnų separatorių atramoms (seisminio poveikio analizė), nuleidžiamiesiems vamzdynams, maitinančio vandens vamzdynui, garotiekių sistemai būgnų separatorių patalpoje bei visiems didelio skersmens vamzdynams. Įtempimų pasiskirstymui vamzdynuose nustatyti buvo sudaryti baigtinių elementų modeliai naudojant specializuotą vamzdynų projektavimo ir analizės kompiuterinį kodą – PipePlus. Ši programa remiasi baigtinių elementų metodika, kuri specialiai pritaikyta vamzdynų skaičiavimui. Įtempimams būgno separatoriaus atvamzdžiuose nustatyti buvo sudaryti tūriniai baigtinių elementų modeliai, leidžiantys išsamiai išnagrinėti lokalines

didžiausių įtempimų zonas. Analizei naudotas kompiuterinis kodas FE/Pipe. Seisminėje vamzdynų bei būgno separatoriaus atramų analizėje buvo taikomas sudėtinis konstrukcijos atsako spektrų metodas. Seisminė analizė atlikta visiems nagrinėtiems vamzdynams. 2 pav. yra pateiktas vienas nagrinėtų vamzdynų, t.y. didelio skersmens vamzdynų ($D_u = 800$ mm), struktūrinis modelis. Struktūriniuose modeliuose buvo įvertintos visos kietos, pakabinamos ir spyruoklinės konstrukcijų atramos. Atliekant skaičiavimus buvo vertinamos visos pagrindinės apkrovų rūšys: vidinis slėgis, savasis svoris, terminis išsiplėtimas bei pradinis vamzdynų įtempimas montavimo metu.



2 pav. Didelio skersmens vamzdynų ($D_u = 800$ mm) deformacijos seisminio poveikio atveju

Pagal atliktų skaičiavimų rezultatus buvo nustatytos labiausiai apkrautos reaktoriaus aušinimo sistemos vietos. Seisminio povei-

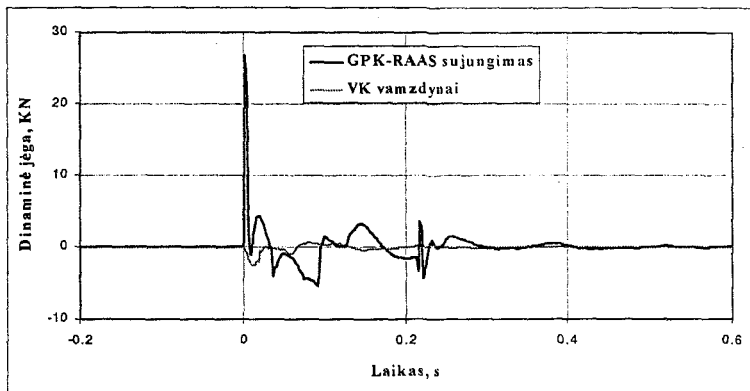
kio atveju gauta, kad plastiškai yra deformuojama horizontalioji būgno separatoriaus atrama. Nors jos pačios suirimo tikimybė nėra didelė, tačiau gali būti pažeistas jos tvirtinimas sienoje. Todėl ateityje reikėtų atlikti netiesinę horizontalios atramos stiprumo analizę, įvertinant atramos tvirtinimą betone. Hidraulinių bandymų atveju ASME standartų netenkino būgno separatoriaus – maitinančiojo vandens atvamzdis. Šio apkrovimo atveju jame atsiranda vietinės plastinės zonos. Todėl ateityje reikėtų atlikti šio atvamzdžio mažaciklio nuovargio analizę. Atlikta svarbiausių saugai Ignalinos AE reaktoriaus aušinimo sistemos komponentų kompleksinė struktūrinė ir termohidraulinė analizė neatskleidė trūkumų, dėl kurių būtų negalima tolesnė Ignalinos AE RAS eksploatacija.

4. Hidraulinio smūgio įtakos PCK elementams analizė

Nagrinėjant giljotininis trūkius iki grupinio paskirstymo kolektoriaus (GPK) atbulinio vožtuvo pastebėta, kad tuojau pat po trūkio atsiranda greitas atbulinis šilumnešio tekėjimas, ko pasekoje staigiai užsidaro GPK atbulinis vožtuvas. Toks greitas atbulinio vožtuvo užsidarymas gali sukelti slėgio ir debito pulsacijas, t.y. hidraulinį smūgį. Potencialiai šios pulsacijos gali iššaukti atbulinio vožtuvo ir gretimų pagrindinio cirkuliacinio kontūro (PCK) ir reaktoriaus avarinio aušinimo sistemos (RAAS) vamzdynų vientisumo pažeidimus. Hidraulinio smūgio įtakos PCK elementams analizės tikslas yra kontūro elementų vientisumo parodymas specifinėmis Ignalinos AE sąlygomis, naudojant realistinius modeliavimo metodus individualiems analizės metodams, tačiau naudojant konservatyvias prielaidas, pradines ir ribines sąlygas bei atitinkamus saugos faktorius įvertinant gautus rezultatus. Analizėje naudojamas deterministinis metodas, analizuojami ribiniai (t.y. pavojingiausi) pereinamieji procesai kiekvienai įvykių grupei. Slėgio pulsacijų po GPK atbulinio vožtuvo užsidarymo, trūkus slėgimo kolektoriui arba GPK, analizei naudotas sisteminis kodas RELAP5. Naudojant RELAP5 modelį analizuotas technologinių parametrų, tokių kaip slėgis cirkuliacijos kontūre ir gretimuose

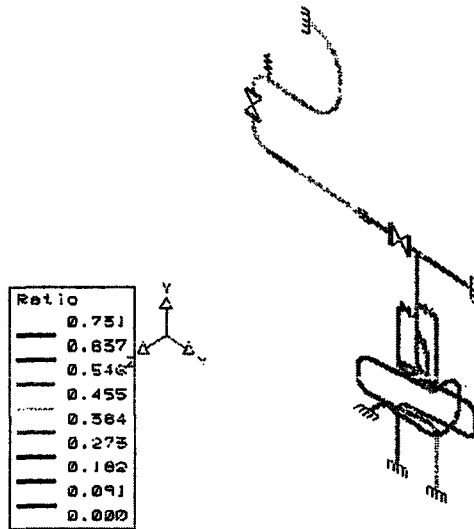
vamzdynuose, slėgio pulsacijų, šilumnešio temperatūros pasikeitimo, dinaminių jėgų pulsacijų (3 pav.), kurie buvo naudojami atliekant hidraulinio smūgio įtakos vamzdynams analizę.

Grupinio paskirstymo kolektoriaus ir prie jo prijungtų reaktoriaus avarinio aušinimo sistemos ir vandens komunikacijų (VK) vamzdynų struktūrinio vientisumo įvertinimui panaudota kompiuterinė programa PipePlus. Šių komponentų analizė atlikta pagal ASME III poskyrį NC. Atlikus GPK-RAAS vamzdynų struktūrinę analizę hidraulinio smūgio atveju įtempimų koeficientas pagal ASME III NC reikalavimus nedidesnis už 1 (4 pav.). Tai reiškia, kad šių vamzdynų struktūrinis vientisumas nebus pažeistas. Atlikus GPK-VK vamzdynų struktūrinę analizę hidraulinio smūgio atveju didžiausi įtempimai gauti vamzdžių lenkimo alkūnėse. Maksimalūs skaičiuojami įtempimai pagal ASME III NC lygūs 244 MPa, t.y. didesni už leidžiamus įtempimus 212 MPa, tačiau mažesni už stiprumo ribą 412 MPa. Įtempimų koeficientas šiuo apkrovimo atveju lygus 1,15.



3 pav. Dinaminės jėgos kitimas GPK-RAAS ir VK vamzdynuose

Tai reiškia, kad gauti įtempimai (244 MPa) gali iššaukti tik plastines deformacijas, bet vamzdynų struktūrinis vientisumas bus nepažeistas.

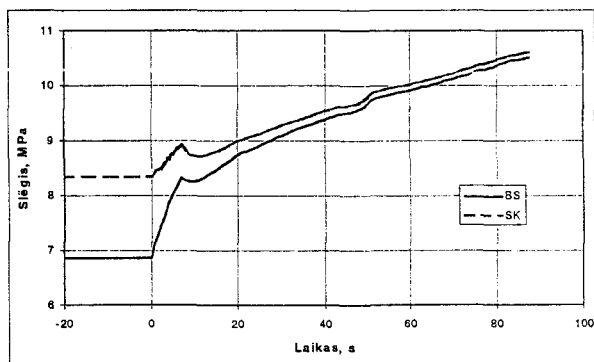


4 pav. GPK-RAAS įtempimų koeficiento pasiskirstymas apkrovimo atveju

5. Ignalinos AE papildoma avarinio reaktoriaus stabdymo sistema

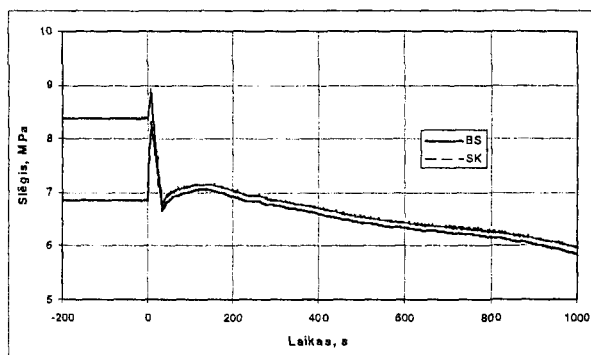
Ignalinos AE visapusiško įvertinimo projekte buvo nagrinėjamos ne tik projektinės avarijos, bet ir pereinamieji procesai be reaktoriaus stabdymo. Šie pereinamieji procesai tai avarinės situacijos be šilumnešio praradimo, kurių tikimybė yra nedidelė (~1,0/metus, pvz., turbinos sustojimas), arba incidentai, kurių tikimybė yra taip pat nedidelė (~3·10⁻², pvz., įvykiai su reaktyvumu pasikeitimu), kai nesuveikia reaktoriaus avarinės apsaugos sistema. Pagrindiniai pereinamųjų procesų be reaktoriaus stabdymo analizės tikslai yra pademonstruoti, kad reaktoriaus aušinimo kontūro bei ALS vientisumas nebus pažeistas bei kad šilumos nuvedimas iš aktyviosios zonos yra pakankamas. Vakarų šalių reaktoriams šie procesai yra projektinės avarijos ir jų analizė būtina gaunant licenciją. RBMK tipo reaktoriams pereinamieji procesai

be reaktoriaus stabdymo nėra projektinės avarijos, todėl jų analizė ankščiau nebuvo atlikta. Pereinamųjų procesų be reaktoriaus stabdymo analizė atlikta Ignalinos AE visapusiško įvertinimo projekte – pirma tokio tipo analizė RBMK reaktoriams. Buvo parodyta, kad kai kurie pereinamųjų procesų be reaktoriaus stabdymo scenarijai turės nepriimtinas pasekmes (5 pav.). Todėl reikalingos kompensuojančios priemonės.



5 pav. Slėgio cirkuliaciniame kontūre kitimas, kai prarastas elektros energijos tiekimas saviems poreikiams ir nesuveikus egzistuojančiai RAAS (BS - būgnas separatorius, SK – slėgimo kolektorius)

Buvo inicijuotas bendras JAV-Lietuvos projektas papildomai reaktoriaus avarinės apsaugos sistemos DAZ sukurti ir įdiegti Ignalinos AE. ISAG atliko papildomą pereinamųjų procesų be reaktoriaus stabdymo analizę egzistuojančiai RAAS, rekomendavo DAZ sistemos suveikimo ribas, atliko ATWS analizę įdiegus DAZ sistemą. Parodyta, kad įdiegus DAZ saugos kriterijus, nebus viršyti ir tuo pačiu pereinamieji procesai be reaktoriaus stabdymo



6 pav. Slėgio cirkuliaciniame kontūre kitimas, kai prarastas energijos tiekimas saviems poreikiams ir nesuveikus egzistuojančiai RAAS, bet suveikus DAZ sistemai

tąps projektinėmis avarijomis Ignalinos AE. Ši sistema 1998 m. jau įdiegta Ignalinos AE pirmame bloke, o 1999 m. bus įdiegta ir antrame.

6. Išvados ir perspektyvos

Pastaruoju metu Ignalinos AE saugumo analizės grupės specialistų atliktų darbų trumpa apžvalga leidžia daryti išvadą, kad čia susiformavo pajėgus mokslinis kolektyvas, sugebantis atlikti sudėtingus darbus, susijusius su sudėtingų sistemų bei pramonės objektų rizikos ir saugos analizėmis. Grupės atlikti darbai, susiję su Ignalinos AE saugos pagerinimu, jau įdiegti arba diegiami šioje jėgainėje.

Ateityje numatoma dirbti ne tik Ignalinos AE poreikiams, bet ir išplėsti tyrimus, taikant juos padidintos rizikos pramoninės objektams. Ignalinos AE saugumo analizės grupės specialistai pasirengę atlikti:

- galimų termohidraulinių ir pereinamųjų procesų analizę atominėse elektrinėse ir kituose pramonės objektuose;

- atominių jėgainių, pramoninių objektų statybinių konstrukcijų, vamzdynų ir kitų elementų struktūrinę analizę;
- padidintos rizikos objektų tikimybinę saugumo analizę;
- atskirų sistemų vienetinių gedimų analizę ir inžinerinį įvertinimą;
- numatomų techninių modifikacijų įtakos technologiniam procesui ir pramoninio objekto saugumui įvertinimą.

Ignalina NPP Safety Analysis: Models and Results

Summary

Research directions, linked to safety assessment of the Ignalina NPP, of the scientific safety analysis group (ISAG) are presented. Models and main works carried out last year are described.