

6.5 RBMK-1500 reaktoriaus papildoma avarinio stabdymo sistema

RBMK-1500 avarių analizė atlikta giluminiame Ignalinos AE saugos pagrindime /SAR-96/ (projektas užbaigtas 1996 metais). Ji apima netik projektines avarijas, bet taip pat pereinamųjų procesų, neveikiant reaktoriaus stabdymui (ATWS) analizę. ATWS yra avarijos, apimančios avarijas be šilumnešio praradimo (vidutinis dažnis maždaug 1,0/metai, pvz. turbinos sustojimas) ar nedažnus įvykius (maždaug $3 \cdot 10^{-2}$ /metai, pvz. reaktyvumo įvykiai) ir automatinio reaktoriaus stabdymo gedimą. Sutinkamai su pagrindimu, atliktu Barselinos projekte /BAR-96/, tokio gedimo tikimybė gali būti $4 \cdot 10^{-4}$ ar didesnė. Ši gedimo tikimybės reikšmė parodo ATWS svarbą Ignalinos AE. Pagrindiniai ATWS analizės tikslai yra parodyti kad slėgis reaktoriaus aušinimo sistemoje nebus viršytas, reaktorius bus sustabdytas ir šilumos nuvedimas bus pakankamas. RBMK tipo reaktoriams ATWS nėra projektinės avarijos ir anksčiau nebuvo atlikta šio tipo avarių analizė. ATWS analizė Ignalinos SAR yra pirma tokio tipo avarių analizė RBMK tipo reaktoriams.

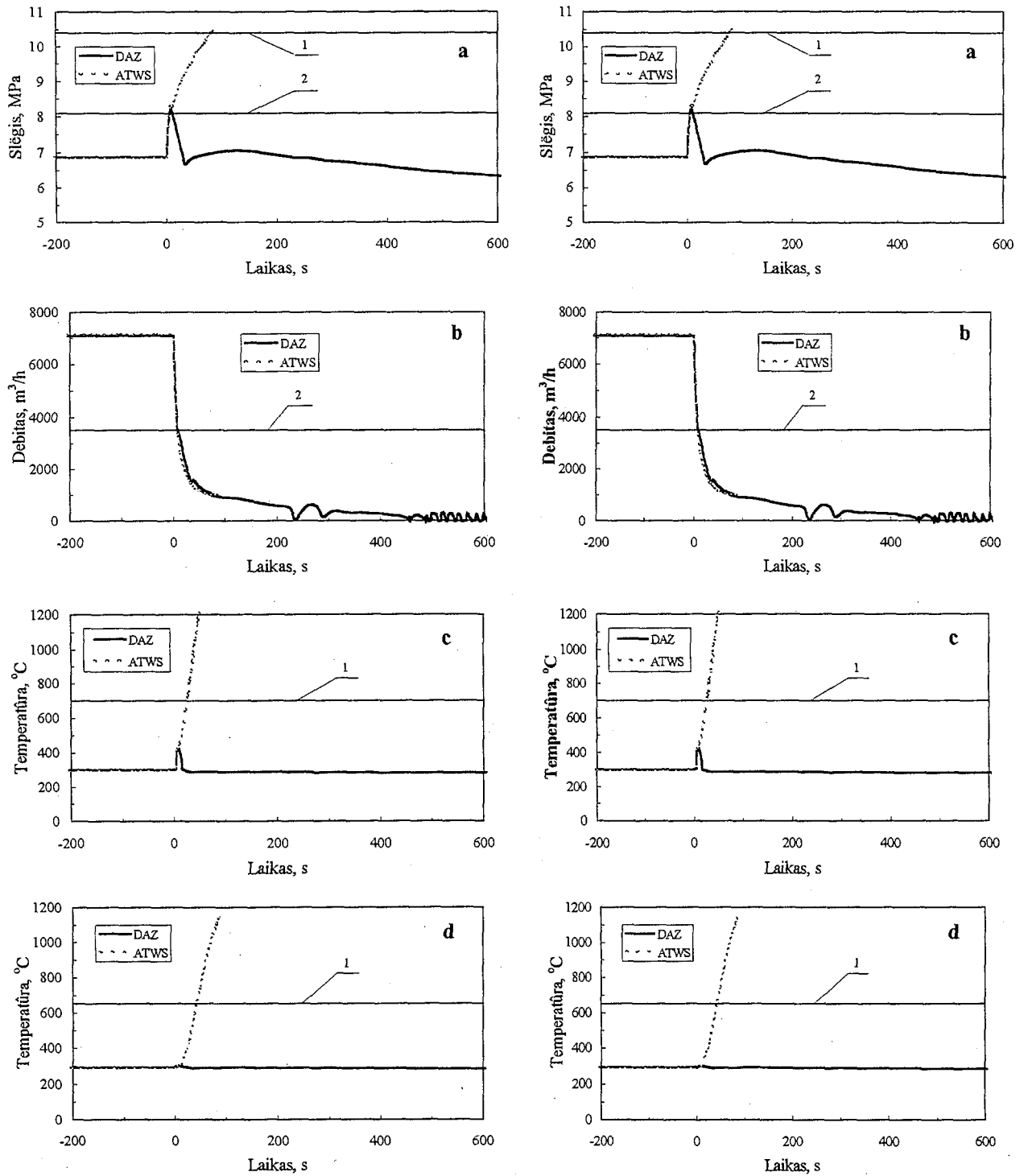
Aukščiau paminėta analizė parodė, kad kai kurie ATWS scenarijai gali sukelti nepriimtinas pasekmes. Pavyzdžiui, elektros energijos savoms reikmėms praradimo atveju, kai reaktorius dirba 4200 MW šiluminiu galingumu saugumo kriterijus reaktoriaus aušinimo sistemoje bus pažeistas maždaug per vieną minutę. Akivaizdus RBMK tipo reaktorių saugos trūkumas iššaukia vieną aukšto prioriteto rekomendaciją: turi būti įdiegta antra greitaeigė, nepriklausoma ir visiškai skirtinga reaktoriaus stabdymo sistema. Tačiau antros reaktoriaus stabdymo sistemos sukūrimui ir įdiegimui reikia trijų ar keturių metų. Taigi, Ignalinos saugos žiuri /ISP-97/ rekomendavo Ignalinos AE įdiegti kompensuojančias priemones, kurios sugebėtų sumažinti riziką iki to laiko, kol bus įdiegta antra stabdymo sistema. Todėl VATESI pareikalavo, kad Ignalinos AE sukurtų ir įdiegtų kompensuojančias priemones – papildomą stabdymo ir apsaugos sistemą - DAZ sistemą 1998 m. Ignalinos AE 1 bloko planinio remonto metu. JAV DOE sutiko padėti Ignalinos AE sukurti ir įdiegti DAZ. Sutinkamai su projekto planu ISAG atliko avarių analizę DAZ saugumo pagrindime.

DAZ saugumo pagrindime atlikta dviejų pereinamųjų procesų, kurie, jei vyktų be reaktoriaus stabdymo, privestų prie sunkių avarių, analizė. Tai elektros energijos savoms reikmėms praradimo ir vakuomo turbinų kondensatoriuose praradimo atvejai. Abiem atvejais skaičiavimai, naudojant Ignalinos AE RELAP5 modelį atlikti maksimaliai leistinai reaktoriaus šiluminei galiai (4200 MW) ir 50 % nuo projektinės reaktoriaus galios (2400 MW). Abiem galios lygiams analizuota projektinė energobloko būseną (kada visos sistemos išskyrus RVAS dirba pagal projektą) ir ribinė leistina energobloko būseną (tik vienas GRĮ-B iš dviejų ir tik 10 PAV iš 12 veikia, be to nesuveikia visi AMS ir veikia tik keturi RAAS siurbliai ir šešių).

Žemiau, kaip atlikto darbo pavyzdys, pateikta elektros energijos savoms reikmėms praradimo esant 4200 MW reaktoriaus šiluminei galiai analizė. Daroma prielaida, kad bet koks reaktoriaus galios mažinimas, iššauktas esamos reaktoriaus valdymo ir apsaugos sistemos (RVAS) neveikia, tačiau reaktorius yra stabdomas papildomos apsaugos sistemos DAZ pagalba. Analizės rezultatai lyginami su ATWS atvejo (elektros energijos savoms reikmėms praradimas be jokių galios mažinimo priemonių) rezultatais.

Elektros energijos savoms reikmėms praradimas iššaukia staigų ir sunkų reaktoriaus aktyviosios zonos aušinimo pablogėjimą dėl visų PCS sustojimo ir dėl visų MS sustojimo. Tai taip pat iššaukia turbinų generatorių sustojimą ir tuo būdu neatitikimą tarp garo generacijos ir pašalinimo (4200 MW (\$)). Negalimumas sumažinti reaktoriaus galią iššauks slėgio ribų pažeidimą.

Po inicijuojančio įvykio, nepaisant nežymaus šilumnešio kokybės aktyviojoje zonoje pokyčio, kuro temperatūros ir kitų parametru, kurie veikia reaktyvumą, pasikeitimo, reaktoriaus galia palaikoma apytiksliai pastoviai 4200 MW lokalinio automatinio reguliavimo sistemos pagalba, kol nesuveikia DAZ. Dviejų GRĮ-B ir 12 PAV pralaidumo neužtenka garo, kuris generuojamas reaktoriuje, pašalinimui. Dėl to slėgis PCK staigiai pradeda augti po turbinų uždarančiųjų reguliuojančių vožtuvų užsidarymo (30 a pav.). Maždaug po 7,5 sekundės nuo avarijos pradžios kai slėgis BS pasiekia



30 pav. Elektros energijos savoms reikmėms praradimas su egzistuojančios RVAS gedimu, su ir be DAZ sistemos suveikimo 4200 MW reaktoriaus galiai
 1 – saugumo kriterijus; 2 - DAZ suveikimo reikšmė; a – slėgis BS; b – debitas per PCS; c – didžiausia kuro apvalkalo temperatūra; d – didžiausia kuro kanalo vamzdžio sienelės temperatūra

DAZ suveikimo ribą (8,09 MPa), DAZ sistema generuoja signalą atjungti energijos tiekimą valdymo strypų servomotorių movoms. To pasėkoje greitai greitas avarinio stabdymo sistemos strypai ir rankinio valdymo strypai įleidžiami į aktyviąją zoną ir reaktorius sustabdomas. ATWS atveju reaktoriaus galia išlieka pastovi, o slėgio mažinimo įrenginiai negali pašalinti viso reaktoriuje generuojamo garo. Per 82 sekundes nuo avarijos pradžios viršijama kontūro vientisumo nepažeidimo riba (10,4 MPa). Maždaug po 9 sekundžių nuo avarijos pradžios šilumnešio debitas per kiekvieną veikiančią PCS sumažėja iki 3500 m³/h (30 b pav.). Tai antra DAZ suveikimo riba. Šis signalas yra perteklinis. Penkių iš šešių dyzelių generatorių paleidimas (vienas dyzelis generatorius gali būti remontuojamas) atliekamas automatiškai po visų turbinų sustojimo arba tinklo praradimo. Kai pasiekiamas tinkamas dyzelių generatorių našumas (maždaug po 25 s nuo avarijos pradžios), AMS pradeda veikti, bet po 35 sekundžių nuo avarijos pradžios šilumnešio slėgis AMS išėjimuose nukrenta žemiau 5 MPa ir siurbliai stabdomi (DAZ sistemos atveju). Vandens tiekimas RAAS siurbliais prasideda su 30 sekundžių vėlinimu. ATWS atveju RAAS siurbliai negali tiekti vandens dėl aukšto slėgio PCK. Vandens lygis BS avarijos pradžioje mažėja ir pradeda didėti tik po 200 sekundžių (DAZ sistemos atveju). Vėliau (po 10 – 15 minučių nuo avarijos pradžios) operatorius turi imtis veiksmų, kad išvengtų BS perpildymo.

Didžiausia kuro apvaskalo temperatūra maksimalios galios kanale (3,75 MW) pasiekia ~420 °C maždaug po 8 sekundžių nuo avarijos (30 c pav.). Vėliau, po DAZ suveikimo, temperatūros pradeda mažėti ir saugumo riba 700 °C kuro apvaskalui ir 650 °C kuro kanalo vamzdžio sienelėi nepasiekiamas. ATWS atveju kritinis šilumos srautas viršijamas maksimalios galios kanaluose po 10 sekundžių nuo avarijos pradžios. Tai iššaukia kuro apvaskalo ir kuro kanalo vamzdžio sienelės temperatūrų augimą. Didžiausia kuro apvaskalo temperatūra maksimalios galios kanale pasiekia 700 °C maždaug po 24 sekundžių nuo avarijos (30 c pav.). Kadangi slėgis PCK tuo metu aukštas, apvaskalo pūtimasis negalimas ir ši temperatūrų riba nėra pavojinga. Tačiau po 43 sekundžių nuo avarijos pradžios didžiausia kuro kanalo vamzdžio sienelės temperatūra tame pačiame kuro kanale pasiekia 650 °C (30 d pav.). Galimas kuro kanalo vamzdžio pažeidimas. Tai reiškia, kad gali įvykti daugelio kuro kanalų vamzdžių trūkis, kadangi pagal kuro kanalų galios pasiskirstymą prie 4200MW šiluminės galios /SAR-96/ yra 11 maksimalios galios kanalų. Vėliau (maždaug po 50 s) šiame kanale didžiausia apvaskalo temperatūra pasiekia 1200 °C ir po 87,5 sekundės RELAP5skaičiavimai nutraukiami (ATWS atveju), kadangi apvaskalo temperatūra šiame kuro kanale išeina iš šilumos laidumo lentelės ribų.

Generuojamų avarijos apsaugos signalų pasekmės ir laikai elektros energijos savoms reikmėms praradimo atveju su egzistuojančios RVAS gedimu pateikti 3 lentelėje. Šioje lentelėje apibendrinti visi skaičiuoti atvejai (4200 MW ir 2400 MW reaktoriaus galiai projektinei ir ribinei leistinai energobloko būsenai). DAZ sistema pradeda stabdyti reaktorių po 7 – 7,5 sekundžių nuo avarijos pradžios dėl slėgio padidėjimo BS esant 4200 MW šiluminei reaktoriaus galiai. Antra DAZ suveikimo reikšmė (sumažėjęs šilumnešio debitas per PCS) yra pasiekiamas po trijų keturių sekundžių. Šis signalas yra perteklinis. Kada pradinė reaktoriaus galia mažesnė (generuojamo garo kiekis taip pat mažesnis) slėgis BS auga ne taip staigiai. Tuo metu DAZ sustabdo reaktorių dėl sumažėjusio debito per PCS signalo. Didžiausios parametru, svarbių reaktoriaus saugai (slėgis BS, didžiausia kuro apvaskalo ir kuro kanalo vamzdžio sienelės temperatūros) reikšmės taip pat pateiktos 3 lentelėje. Aukštesnei pradinei reaktoriaus galiai šie parametrai įgauna didesnes reikšmes. Tačiau visais atvejais šių parametru reikšmės yra žemiau leistinų ribų.

Analogiška analizė atlikta ir vakuomo turbinų kondensatoriuose praradimo atvejui. Avarijos analizė parodė, kad kuras yra apsaugotas nuo suirimo ir PCK apsaugotas nuo slėgio viršijimo abiem pradiniais įvykiams (3 lentelė).

3 lentelė Avarijų analizės rezultatai

Reaktoriaus galia, MW	DAZ suveikimas, s		Didžiausias BS slėgis, MPa		Didžiausia kuro apvalkalo temperatūra, °C		Didžiausia kuro kanalo vamzdžio sienelės temperatūra, °C	
	Aukštas BS slėgis	Žemas PCS debitas	Skaičiuota	Saugos kriterijai	Skaičiuota	Saugos kriterijai	Skaičiuota	Saugos kriterijai
Elektros energijos savoms reikmėms praradimas								
4200*	7,4	11,0***	8,32	10,4	425	700	305	650
4200**	7,2	11,0***	8,38	10,4	425	700	305	650
2400**	-	11,4	7,92	10,4	307	700	300	650
Vakuumo turbinų kondensatoriuose praradimas								
4200*	7,9	-	8,19	10,4	317	700	307	650
4200**	7,8	-	8,24	10,4	317	700	304	650
2400*	-	-	7,72	10,4	306	700	297	650
2400**	197	-	8,10	10,4	310	700	303	650

- * - projektinė energbloko būseną
- ** - ribinė leistina energbloko būseną
- *** - pasikartojantis signalas

6.6 Reaktorių aktyviosios zonos modeliavimas

Reaktorių realių būsenų skaičiavimai

Siekiant pagerinti techninius-ekonominius kuro ciklo parametrus bei pakelti Ignalinos AE saugos lygį, dabartiniu metu Ignalinos AE reaktoriai palaipsniui yra užkraunami 2,4% sodr. urano kuru su išdegančiu sugėrikliu erbiu. Šio proceso metu taip pat senos konstrukcijos RR strypai (mod. 2091-01) palaipsniui yra keičiami modernizuotos konstrukcijos (mod. 2477-01) RR strypais. Naudojant programų paketą QUABOX/CUBBOX, buvo atlikti pagrindinių neutroninių-fizikinių charakteristikų skaičiavimai kai kurioms pasirinktoms Ignalinos AE RBMK-1500 reaktorių aktyviųjų zonų būsenoms.

Kaip pradiniai duomenys reaktoriaus, esančio darbinėje būklėje, neutroninių-fizikinių charakteristikų apskaičiavimui buvo pasirinktos šios Ignalinos AE 1-jo ir 2-jo blokų duomenų bazės (DB): 1-jo bloko DB užfiksuotos ISS TITAN 1998 m. vasario 3 d. bei 1998 m. gegužės 5 d., ir 2-jo bloko DB užfiksuotos ISS TITAN 1998 m. kovo 18 d. bei 1998 m. rugpjūčio 24 d.. Šios duomenų bazės Ignalinos AE buvo pateiktos mums elektroninėje formoje. Naudojant atitinkamą programų paketo QUABOX/CUBBOX procedūrą, siekiant suderinti trimačio neutronų lauko pasiskirstymą su aktyviojoje zonoje esančių daviklių parodymais, 5% ribose buvo pakoreguoti vidutiniai kuro išdegimo profiliai pagal aktyviosios zonos aukštį bei kiekvieno kanalo energijos išdirbis. Skaičiavimai, kaip jau minėta anksčiau, buvo atlikti, naudojant vokiečių firmos GRS mbH programų paketą QUABOX/CUBBOX, kuris šiuo metu yra verifikuojamas RBMK tipo reaktoriams, tame tarpe ir RBMK-1500 reaktoriams.

1998 m. sausio 30 d. bei 1998 m. gegužės 5 d. Ignalinos AE 1-jo bloko reaktoriuje, o 1998 m. kovo 17 d. bei 1998 m. rugpjūčio 24 d. Ignalinos AE 2-jo bloko reaktoriuje buvo atliekami eksperimentai, kurių tikslas - nustatyti garo ir galios reaktyvumo koeficientus. Eksperimentų metu