

Branduolinio jėgainio apsauginiai kiautai ir juose vykstantys procesai

Mantas Povilaitis,

Egidijus Urbonavičius,

Sigitas Rimkevičius

*Branduolinio ėrenginio saugos laboratorija,
Lietuvos energetikos institutas,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas*

Siekiant apsaugoti gyventojus, aplinkà ir jėgainės personalà nuo pavojingo spinduliuotės poveikio, branduolinėje jėgainėje ėrengiami barjerai, ribojantys radioaktyvių medžiagų sklaidà. Paskutinis barjeras, neleidžiantis radioaktyviosioms medžiagoms patekti á aplinkà, yra apsauginis kiautas, gaubiantis reaktoriaus aušinimo kontūro vamzdynà ir patà reaktorių. Ignalinos AE su RBMK-1500 tipo reaktoriumi apsauginio kiauto funkcijas atlieka avarijų lokalizacijos sistema ir reaktoriaus erdvės apsaugos sistema, kurioje pritaikytas „slėgio mažinimo“ principas. Straipsnyje apžvelgti pasaulyje egzistuojantys apsauginio kiauto tipai, aptartos pagrindinės jų savybės, apžvelgti apsauginio kiauto patalpose vykstantys procesai, be to, palyginti Ignalinos AE avarijų lokalizacijos sistemos ir kitø kiauto pagrindiniai parametrai.

Raktaþodþiai: branduolinė jėgainė, apsauginis kiautas

1. ÁVADAS

Branduolinio jėgainio eksploatacija susijusi su rizika, kad ávykus avarijai radioaktyviosios medžiagos, susidaranėios branduolinės reakcijos metu, pasklis uþ jėgainės. Siekiant apsaugoti gyventojus, aplinkà ir jėgainės personalà nuo pavojingo spinduliuotės poveikio, branduolinėje jėgainėje ėrengiami barjerai, ribojantys radioaktyvių medžiagų sklaidà. Paskutinis barjeras, neleidžiantis radioaktyviosioms medžiagoms patekti á aplinkà, yra apsauginis kiautas (angl. containment arba confinement), gaubiantis reaktoriaus aušinimo kontūro vamzdynà ir patà reaktorių. Trūkus reaktoriaus aušinimo kontūro vamzdynui radioaktyviosiomis medžiagomis uþterðtas ðilumneðis iðteka á apsauginà kiautà, kurio paskirtis yra sulaikyti iðtekanėias radioaktyvias medžiagas tol, kol jos bus nukreiptos á valymo ėrenginius arba jø aktyvumas nesumapės dėl natūralio radioaktyvaus irimo procesø [1, 2].

Ávykus avarijai Three-Mile-Island branduolinėje jėgainėje (JAV), kurios metu didelė dalis branduolinio kuro iðsilydė, apsauginis kiautas sulaikė radioaktyvias medžiagas ir buvo iðvengta skaudpiø padariniø. Ėernobylio branduolinė jėgainė, kurioje buvo naudojami RBMK-1000 reaktoriai, turėjo silpnà apsauginà kiautà, negalintà iðlaikyti susidariusio apkrovø. Tai lėmė, kad buvo uþterðta didelė teritorija ir nebuvo iðvengta þmoniø aukø.

Ðiuo metu yra plaėiai paplitusi nuomonė, kad Ignalinos AE, kurioje eksploatuojamas RBMK-1500 tipo reaktorių, neturi jokio apsauginio kiauto. Branduolinėse jėgainėse su korpusiniais reaktoriais apsau-

ginio kiauto kupolas yra ið toli matoma áspūdinga struktūra, sudaranti teigiamà ávaizdà. Tačiau ávertinant jėgainio saugà yra svarbu ne ávaizdis, bet atliekamos funkcijos efektyvumas. Ignalinos AE apsauginio kiauto funkcijas atlieka avarijų lokalizacijos sistema (ALS) ir reaktoriaus erdvės (RE) apsaugos sistema [3], kuriø iðorinis vaizdas nėra iðsiskiriantis ið kitø jėgainės pastatø. Ðios sistemos turi daug panaðumø, taėiau ir labai skiriasi nuo kitø, visame pasaulyje eksploatuojamø apsauginio kiauto. ALS taikomas „slėgio mažinimo“ principas yra plaėiai naudojamas branduolinėse jėgainėse su BWR, VVER ir kito tipo reaktoriais [4–6].

Ávykus avarijai, kurios metu á patalpas ið reaktoriaus aušinimo kontūro iðteka ðilumneðis, patalpose vyksta daug sudėtingø, sàveikaujanėio ðilumos ir masės mainø procesø (dujų maiðymasis, garo kondensacija, aerozoliø perneðimas ir t. t.). Siekiant uþtikrinti patikimà apsauginio kiauto eksploatacijà, būtina gerai suprasti ðiuos procesus ir mokėti juos valdyti.

Ðiame straipsnyje trumpai apžvelgti pasaulyje egzistuojantys apsauginio kiauto tipai, aptartos pagrindinės jų savybės, apžvelgti apsauginio kiauto patalpose vykstantys procesai, be to, palyginti Ignalinos AE avarijų lokalizacijos sistemos ir kitø kiauto pagrindiniai parametrai.

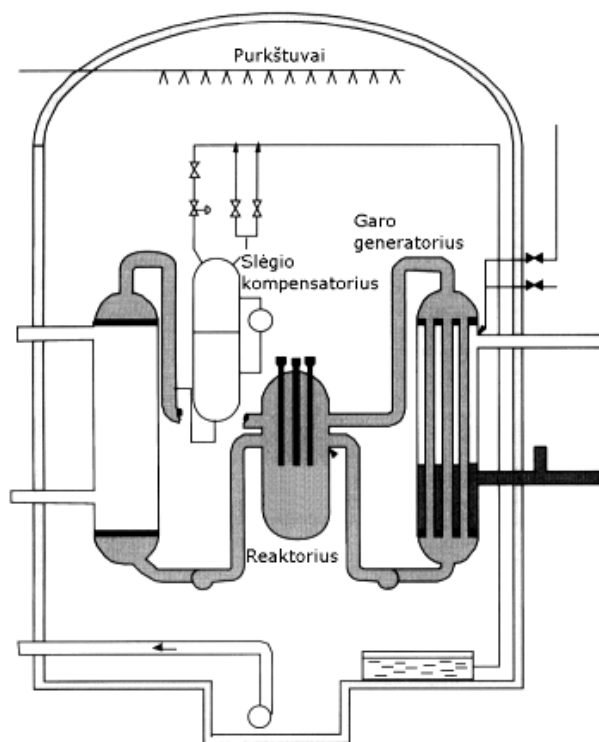
2. APSAUGINIO KIAUTO TIPAI IR SUDĖTIS

Branduolinėse jėgainėse ėrengiami ávairūs apsauginiai kiautai, bet visus juos galima suskirstyti á dvi dideles grupes: 1) „sausieji“ kiautai (angl. dry containment);

2) „slėgio mažinimo“ kiautai (angl. pressure suppression containment).

„Sausieji“ apsauginiai kiautai

„Sausieji“ kiautai dažniausiai ėrengiami jėgainėse su suslėgto vandens reaktoriais PWR. Tai didelio tūrio (~70000 m³) hermetiški gelb betoniniai pastatai. Toks didelis tūris yra reikalingas siekiant sulaikyti visas ištekantias radioaktyvias medžiagas. „Sausøjø“ kiautø konstrukcija yra gan paprasta. Juose yra tik keletas branduolinė reaktoriø supanėiø patalpø (1 pav.). Garas ėiuose kiautuose yra kondensuojamas purėkiant vandens laėelius. Jokie papildomi garo kondensavimo ėrenginiai nenaudojami. „Sausøjø“ kiautø projektinis slėgis, t. y. slėgio apkrova, kuriā pagal projektā gali išlaikyti apsauginis kiautas, yra ~0,7 MPa. Projektinis dujø nuotėkis iš kiauto sudaro tik 0,1–1% tūrio per parā esant projektiniam slėgiui [7].



1 pav. „Sausojo“ kiauto schema

Vokietijoje projektuotas PWR, dar vadinamas Konvoi, turi dvigubā apsauginā kiautā. Tokā kiautā sudaro vidinė sferinė metalo struktūra ir išorinė pusrutulio formos betoninė struktūra. Erdvėje tarp abiejø struktūrø palaikomas mažesnis uė atmosferos slėgis. Toks apsauginis kiautas vadinamas dvigubu (angl. double containment). Skirtingø modeliø Konvoi apsauginiø kiautø projektinis slėgis sudaro 570–630 kPa.

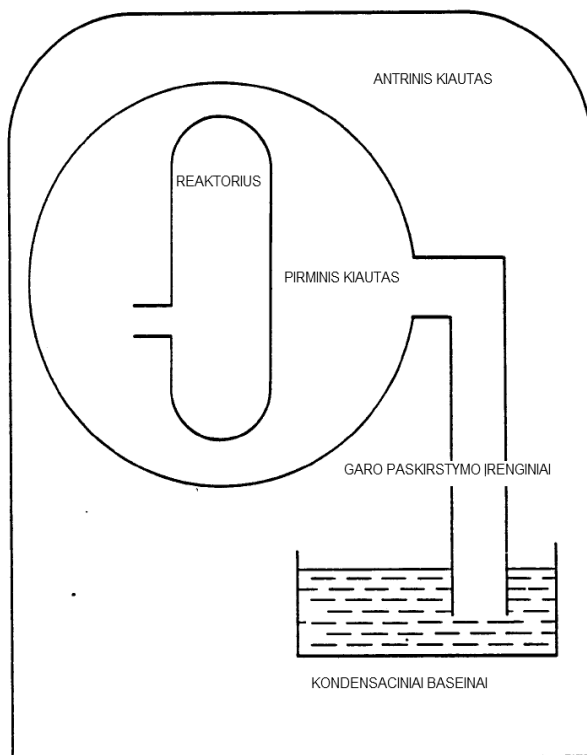
Rusijoje suprojektuoti VVER 440/230 ir VVER 1000 taip pat turi sausuosius apsauginius kiautus. Būtinai atkreipti dėmesā ā tai, kad VVER 440/230 apsauginis kiautas nėra toks atsparus apkrovoms, kaip kiti apsauginiai kiautai, ir trūkūs didelio skersmens vamzdėiui garo ir dujø mišinys patenka ā aplinkā per

specialius apsaugos vamzdėlius. VVER 440/230 apsauginio kiauto maksimalus projektinis slėgis yra 245 kPa, o jo tūris – 52400 m³. VVER 1000 apsauginis kiautas yra panašus ā ėprastā PWR reaktoriø apsauginā kiautā – jo tūris yra 60000 m³, projektinis slėgis – 0,55 MPa.

Branduolinėse jėgainėse su CANDU tipo reaktoriais (CANDU yra branduolinis reaktorius, auėinamas sunkioju vandeniu) naudojamas vakuuminis „sausasis kiautas“. Ąvykus avarijai CANDU reaktoriuje garo ir dujø mišinys nukreipiamas ā atskirā patatā, kuriame normalios eksploatacijos metu palaikomas mažesnis nei atmosferos slėgis. ėiame pastate kondensuojamas garas ir sulaikomos radioaktyviosios medžiagos, jo tūris – 48000 m³, projektinis slėgis – 124 kPa [8].

„Slėgio mažinimo“ apsauginiai kiautai

Slėgio mažinimo (angl. pressure suppression) kiautuose avarijos metu ištekantis garas kondensuojamas specialiais ėrenginiais, pvz., vandens baseine arba ledo kondensatoriuje. „Slėgio mažinimo“ reaktoriaus kiautā galima suskirstyti ā tris pagrindines dalis (2 pav.):



2 pav. „Slėgio mažinimo“ kiauto schema

– pirminis kiautas – patalpos, kuriose yra reaktoriaus auėinimo kontūro vamzdynai, ėranga ir pats branduolinis reaktorius. Ą ėias patalpas avarijos atveju ištekės radioaktyviosiomis medžiagomis uėterštas šilumnešis;

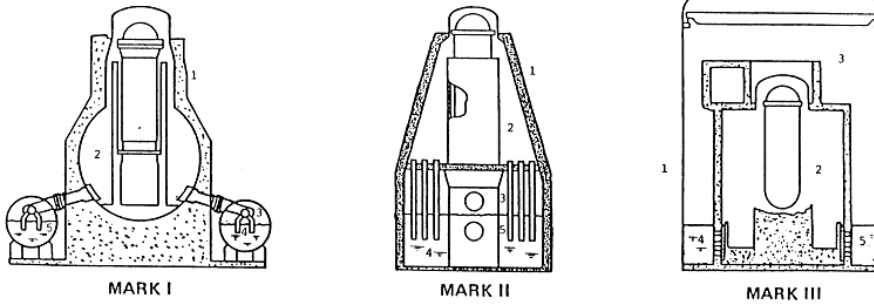
– kondensacinis ėrenginys – vandens baseinas arba ledo kondensatorius, kuriuo kondensuojamas garas;

– antrinis kiautas – patalpos už kondensacinių baseinų, á kurias iš pirminio kiauto patenka per baseinų vandená burbuliuojantis oras ir kitos nesikondensuojančios dujos.

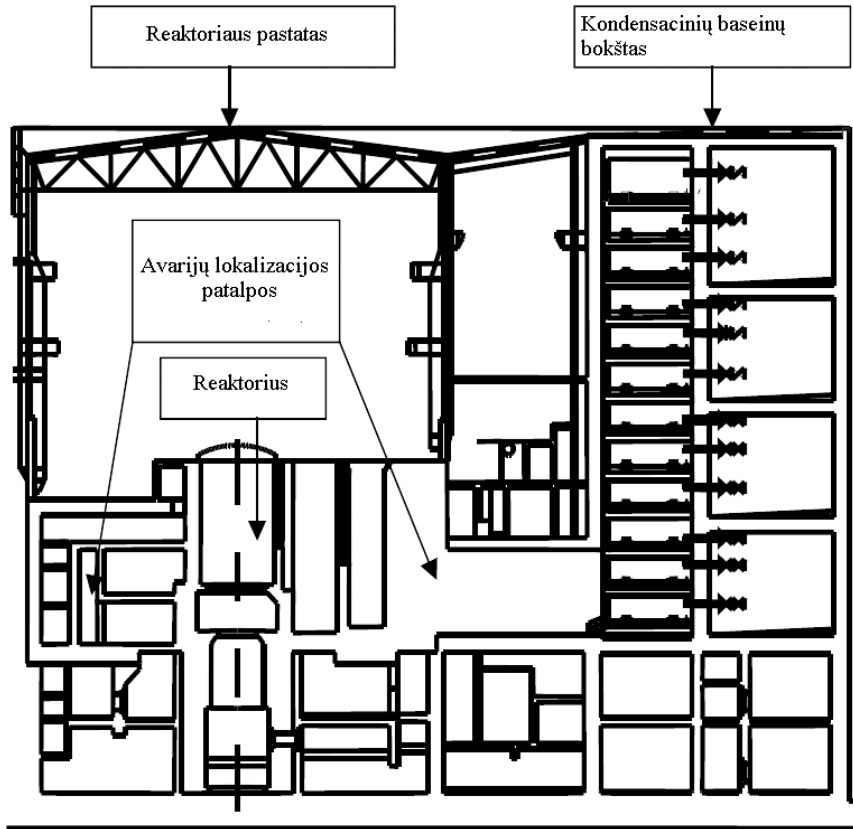
Ávykus avarijai branduolinėje jėgainėje, kurioje yra „slėgio mažinimo“ kiautas, garas išteka á pirminá kiautá ir yra nukreipiamas á specialų garo kondensavimo árenginá. Garas jame kondensuojasi, o nesikondensuojančios dujos, pavyzdžiui, oras, patenka á antriná kiautá ir ten yra sulaikomos.

Ðiuo metu pasaulyje naudojami trijų pagrindinių tipų slėgio mažinimo kiautai (3 pav.) ir jų modifikacijos. Anksčiausiai buvo sukurtas Mark I tipo apsauginis kiautas su „lemputės“ formos pirminiu kiautu,

- 1 - pagrindinis kiautas
- 2 - pirminis kiautas
- 3 - antrinis kiautas
- 4 - kondensaciniai baseinai
- 5 - garo paskirstymo árenginiai



3 pav. „Slėgio mažinimo“ kiautų raida



4 pav. VVER 440/213 apsauginio kiauto schema

toro formos antriniu kiautu ir sudėtinga garo paskirstymo árenginių sistema. Mark I tipo apsauginio kiauto projektinis slėgis buvo 530 kPa, tūris – 9000 m³. Antro ir trečio – Mark II (projektinis slėgis – 410 kPa, tūris – 9800 m³) ir Mark III (projektinis slėgis – 270 kPa, tūris – 40900 m³) – tipo kiautuose buvo išplėstas pirminis kiautas, Mark II tipo apsauginiame kiaute nebebuvo toro formos patalpų, o kondensaciniai baseinai buvo árengti þemiau už patalpas, kuriose yra reaktoriaus ir reaktoriaus áuðinimo kontûro vamzdiniai. Ilgi (~7 m), vertikalūs, á vandená pánardinti vamzdþiai nukreipia išsiverþusá gará á kondensaciná baseiná. Mark III tipas þenkliai skyrësi nuo Mark I ir Mark II tipų [4]:

– pirminio kiauto riba nebëra dalis išorinės viso kiauto ribos;

– angos, jungiančios pirminá ir antriná kiautus, yra horizontalios ir panirusios þemiau vandens lygio kondensacijos baseine;

– antrinio kiauto tūris yra daug didesnis už pirminio kiauto tūrą;

– antrinis kiautas yra prienamasis ir veikiančias reaktoriui.

Siekiant kuo efektyviau kondensuoti gará bei nusodinti radioaktyvias medþiagas, pirminiame ir antriniame kiautuose árengiami purkðtuvai, per kuriuos purðkami vandens laðeliai. Kai kurie BWR kiautai (daþniausiai Mark I ir Mark II tipų, taip pat Ðvedijos BWR) yra papildomi azoto dujais, kad avarijos metu bûtų išvengta vandenilio sprogo.

Rusijoje suprojektuoti VVER 440/213 reaktoriai, kitaip nei VVER 440/230 ir VVER 1000, turi „slėgio mažinimo“ kiautus. Ðiandien yra daugiau nei dvideðimt áio modelio veikiančių arba baigiamų statyti reaktorių Èekijoje, Rusijoje, Slovakijoje, Suomijoje, Ukrainoje ir Vengrijoje. VVER 440/213 apsauginiuose kiautuose yra 12 kondensacinių baseinų, árengtų vienas virð kito viename bokšte, kuris yra sujungtas su garo generatoriaus patalpa (4 pav.). Iš viso baseinuose yra 1250 m³ vandens. Oras ir kitos nesikondensuojančios dujos pratekėjusios per basei-

nà, yra nukreipiamos á keturis túrius, vadinamus oro spàstais (angl. air trap) (vieni spàstai trims baseinams). Ir kituose slėgio mašinimo kiautuose, ir VVER 440/213 kiaute papildomai garui kondensuoti yra naudojama vandens purkðtuvø sistema [6].

Westinghouse kompanijos sukurtame slėgio mašinimo apsauginiame kiaute vietoje vandens baseinø yra naudojamas ledas. Ið viso tokiaame apsauginiame kiaute yra ~900 tonø -9°C temperatūros ledo. Garas, sàveikaudamas su ledu, kondensuojasi, o ledas tirpsta. Nesikondensuojanèios dujos teka pro ledo kondensatoriø ir patenka á antrinà kiautà. Ledo kondensatoriaus projektinis slėgis yra 0,18 MPa, túris – 34000 m³ [7].

3. IGNALINOS AE APSAUGINIS KIAUTAS

Avarijø lokalizacijos sistema

Ignalinos AE kiauto funkcijas atlieka avarijø lokalizacijos sistema (ALS) ir reaktoriaus erdvės apsaugos sistema. ALS turi kondensacinius baseinus, kuriuose avarijos metu kondensuojamas garas ir sulaikomos radioaktyviosios medžiagos. Taigi ðià sistemà galima

priskirti „slėgio mašinimo“ kiautø tipui. ALS schema pateikta 5 pav. Ignalinos AE ALS skiriasi nuo áprastø slėgio mašinimo kiautø. Pagrindiniai skirtumai yra:

- ne visas reaktoriaus auðinimo kontúras yra ALS patalpose,
- garui kondensuoti naudojama 10 kondensaciniø baseinø, iðdėstyto dviejuose bokðtuose,
- yra „švaraus oro“ išleidimo sistema.

Pirmos dvi savybės yra panaðios á VVER 440/213 kiautø savybes, o treèioji būdinga tik RBMK-1500 tipo reaktoriø kiautams. Kaip ir kitus slėgio mašinimo kiautus, Ignalinos AE avarijø lokalizacijos sistemà galima suskirstyti á tris dalis:

- patalpos prieš kondensacinius baseinus (pirminis kiautas) (5 pav.):
 - o stiprios-sandarios patalpos (21), kuriose yra didþioji dalis PCK árangos, t. y. pagrindiniai cirkuliaciniai siurbliai (2) su ásiurbimo ir slėgio kolektoriais (3 ir 4), nuleidþiamieji vamzdþiai ir t. t.;
 - o apatinio vandens komunikacijø patalpos (22), kuriose yra grupiniai paskirstymo kolektoriai (5) ir apatinės vandens komunikacijos;
 - o reaktoriaus erdvė (30);

- o apatinės garø priėmimo kameros (29);

- o virðutinės garø priėmimo kameros (24).

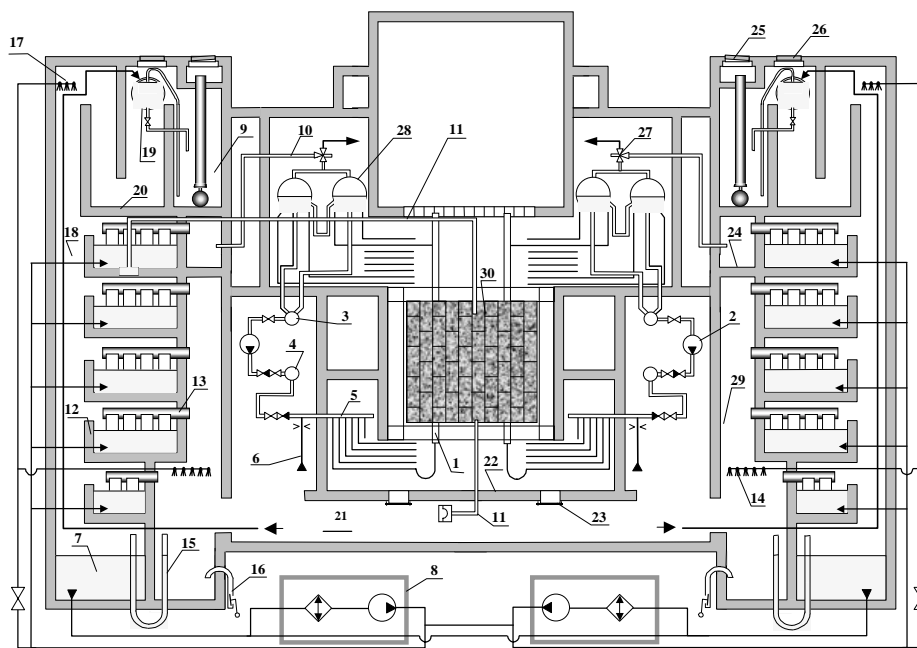
- patalpos uþ kondensaciniø baseinø (antrinis kiautas):

- o oro nukreipimo kanalas (18);

- o dujø sulaikymo patalpa (20);

- kondensaciniai baseinai (12).

Ignalinos AE pirminio kiauto túris yra 20600 m³, antrinio kiauto – 14400 m³. Deðimtyje kondensaciniø baseinø yra 3460 m³ vandens. Nors Ignalinos AE avarijø lokalizacijos sistemoje pritaikytas „slėgio mašinimo“ principas yra naudojamas ir branduolinėse jėgainėse su BWR ar VVER tipo reaktoriais, taèiau garo kondensavimo árenginiai skiriasi nuo analogiškø árenginiø, naudojamø ðiose branduolinėse jėgainėse. Ignalinos AE kondensaciniai baseinai yra vertikaliai iðdėstyti ALS bokðtuose, po penkis kiekviename bokðte. Kondensaciniams baseinams auðinti



5 pav. Ignalinos AE ALS schema

1 – kuro kanalas, 2 – pagrindinis cirkuliacinis siurblys (PCS), 3 – PCS ásiurbimo kolektorius, 4 – PCS slėgio kolektorius, 5 – grupinis paskirstymo kolektorius, 6 – reaktoriaus avarinio auðinimo sistemos kolektorius, 7 – karšto kondensato kamera, 8 – KB auðinimo sistema, 9 – oro paðalinimo vamzdþiø patalpa, 10 – vamzdþiai nuo pagrindinio apsaugos voþtuvo ir BRU-B voþtuvo, 11 – vamzdþiai ið reaktoriaus erdvės, 12 – kondensaciniai baseinai, 13 – garo paskirstymo árenginiai, 14 – purkðtukai apatinėje garø priėmimo kameroje, 15 – hidrouþtvaros, 16 – vakuuminiai voþtuvai, 17 – purkðtukai oro nukreipimo kanale, 18 – oro nukreipimo kanalas, 19 – dujø sulaikymo patalpos bakas, 20 – dujø sulaikymo kamera, 21 – stiprios-sandarios patalpos, 22 – apatinio vandens komunikacijø (AVK) patalpos, 23 – voþtuvai ið AVK patalpø, 24 – virðutinė garø priėmimo kamera, 25 – pakeliami paneliai, 26 – numušami paneliai, 27 – PAV ir BRU-B, 28 – búgnai separatoriai, 29 – apatinė garø priėmimo kamera, 30 – reaktorius

naudojama kondensacinio baseinø (KB) aušinimo sistema. Ji taip pat tiekia vandená purkðtuvams, kurie yra tiek pirminiame, tiek antriniame kiautuose.

Reaktoriui dirbant normaliu režimu ALS patalpose ventilacijos sistemomis palaikomas maþesnis nei atmosferos slëgis. Taip yra uþtikrinama, kad radioaktyviosios medþiagos nepateks á aplinká. Avarijos atveju ventilacijos sistemos yra iþjungiamos, o uþsidaræ sandarûs voþtuvai izoluoja ALS patalpas nuo aplinkos.

Statybinio konstrukcijø pavirðiai ALS patalpose yra padengti metaliniais lakðtais, skirtais padidinti ðiø patalpø sandarumà ir apsaugoti betonà nuo drëgmës. Siekiant apsaugoti ðiuos metalo lakðtus nuo korozijos, jø pavirðius padengtas epoksidine danga.

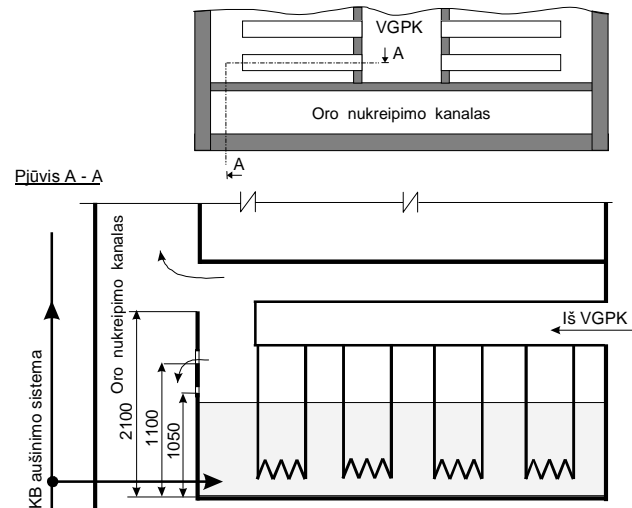
Siekiant, kad avarijos metu apatinio vandens komunikacijø patalpose nebûtø virðytas projektinis slëgis (80 kPa), sienoje sumontuota 18 numuðamø diskø. Diskai atsidaro, kai perteklinis slëgis apatinio vandens komunikacijø patalpoje pakyla iki 20 kPa. Atsidarius diskams garo ir dujø miðinys patenka á stiprias-sandarias patalpas. Paþymëtina, kad ið stipriø-sandariø patalpø pusës ðie diskai iðlaiko 300 kPa pertekliná slëgá, t. y. ávykus avarijai stipriose-sandariose patalpose grupinio paskirstymo kolektoriaus (GPK) patalpos lieka atskirtos ir á jas garas nepatenka.

Apatinë garø priëmimo kamera (AGPK) kartu su vertikaliais garo paskirstymo koridoriais yra priedø baseinus, t. y. pirminiame kiaute. Á ðias patalpas patekæs garas yra nukreipiamas á apatinio keturiø baseinø garo paskirstymo árenginius. Ðioje patalpoje árengti purkðtukai (sudëtinë baseinø aušinimo sistemos dalis), skirti garui kondensuoti bei aerosoliams ir radioaktyviosioms dalelëms ið atmosferos paðalinti. AGPK árengtas vakuuminis voþtuvas, skirtas neleisti susidaryti vakuumui patalpose.

ALS bokøtuose yra pagrindiniai „slëgio maþinimo“ kiauto árenginiai – kondensacijos baseinai. Virðutiniai KB skirti garui, iðtekanëiam atsidarius reaktoriaus auðinimo kontûro apsaugos voþtuvams bei garui, iðsiverþusiam trûkus kuro kanalui (–ams) reaktoriaus erdvėje, kondensuoti.

2–4 lygio kondensacijos baseinø konstrukcija identiška, o dalá apatinio KB uþima AGPK. 2–4 KB árengta po 10 garo paskirstymo árenginiø (GPÁ), kuriø kolektoriai jungia priedingus AGPK garo paskirstymo koridorius. Prie kiekvieno kolektoriaus prijungta po 24 nuleidþiamuosius vamzdþius, kurie panardinti á kondensacinio baseinø vandená. Kitaip nei 2–4 lygio baseinø, pirmo lygio kondensaciniame baseine yra 7 ilgí (19900 mm ilgio) ir 3 sutrumpinti (9950 mm) GPÁ. Sutrumpinti árenginiai turi po 12 nuleidþiamøjø vamzdþiø. Garas á sutrumpintus kolektorius tiekiamas ið vieno galo, kitas galas yra uþsandarintas. Siekiant neleisti susidaryti didelio skersmens garo burbulams ir taip iðvengti didelio apkrovø, GPÁ nuleidþiamøjø vamzdþiø apaëia yra dantyta.

Virðutinis KB per vidurá yra padalintas á dvi dalis virðutine garø priëmimo kamera (6 pav.). Deðiniajame ALS bokøte á kiekvienà virðutinio KB dalá garas yra nukreipiamas per deðimt paskirstymo árenginiø, kuriø konstrukcija analogiška 1–4 baseinuose naudojamø árenginiø konstrukcijai.



6 pav. Virðutinis kondensacinis baseinas

Virðutinis KB kairiajame ALS bokøte skiriasi nuo apatinio 1–4 lygio baseinø ir virðutinio KB deðiniajame ALS bokøte tuo, kad jo dalis yra pagilinta. Á ágilintà virðutinio KB dalá papildomai ávesti du GPÁ, á kuriuos patenka garas ið reaktoriaus erdvës trûkus kuro kanalui. Garas á ðiuos GPÁ tiekiamas ið virðaus, o abu kolektoriaus galai yra uþsandarinti.

Virðutinėje garø priëmimo kameroje (VGPK) árengtas vakuuminis voþtuvas, jungiantis ðià patalpà su dujø sulaikymo patalpa ir neleidþiantis slëgiui sumaþëti þemiau atmosferos slëgio.

Kondensuojantis garui vandens lygis KB pakyla ir pasiekia persipylimo plyþius, per kuriuos vanduo ið baseinø persipila á karðto kondensato kamerà (KKK).

Oras ir kitos nesikondensuojanëios medþiagos, avarijos metu pratekëjæ per KB, patenka á oro nukreipimo kanalus, kuriø apaëioje yra karðto kondensato kamera. KKK yra laikomas ~500 m³ vandens rezervas KB auðinimo sistemai ir reaktoriaus avarinio auðinimo sistemai. KKK sujungta su AGPK per hidrouþtvartas, neleidþianëias garui ið pirminio kiauto patekti tiesiogiai á KKK, o persipildþius KKK vanduo galëtø pertekëti á AGPK. Ðios hidrouþtvartos yra uþpildomos KKK vandeniu be jokio papildomø árenginiø, t. y. kol yra vandens KKK, ðios uþtvartos bus uþpildytos.

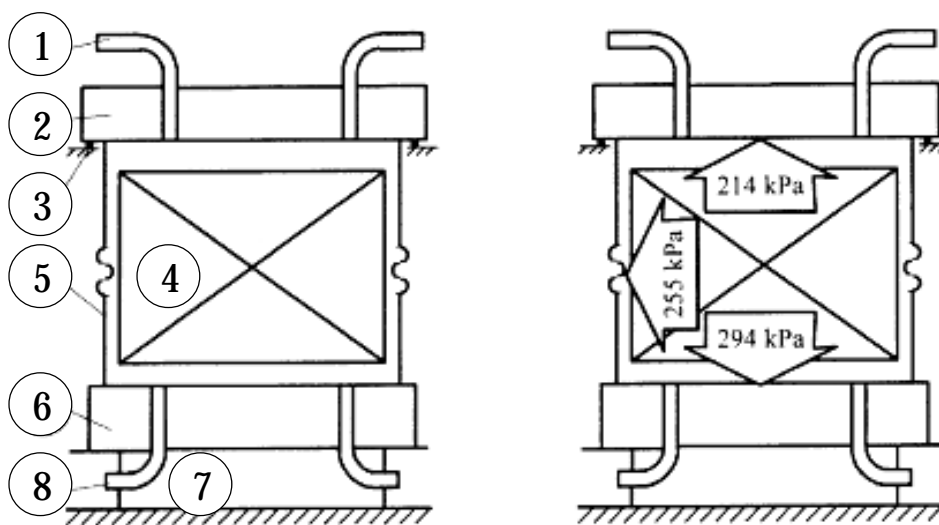
Virð KKK yra oro nukreipimo kanalas, skirtas nesikondensuojanëioms medþiagoms nukreipti á ALS bokøto dujø sulaikymo patalpà. Ðio kanalo virðuje árengti purkðtukai, skirti radioaktyviosioms medþiagoms paðalinti ið patalpos atmosferos. Dujø sulaikymo patalpa pertvaromis padalyta á 7 kanalus taip, kad avarijos metu tekanëios dujos pereitø visus ka-

nalus paeiliui. Ði patalpø sistema dar vadinama labirintu. Paskutinėje DSP labirinto dalyje árengta 10 vertikalioø vamzdþiø, skirtø ðvariam orui á aplinkà paðalinti. Per ðiuos vamzdþius tekaneios dujos patenka á nedidelæ patalpà, kurioje árengti du horizontalūs apsauginiai paneliai, atsidarantys padidėjus slėgiui. Sumapėjus slėgiui paneliai uþsidaro dël gravitacijos.

Ðvaraus oro paðalinimo vamzdþiø apatiniai galai nuleisti á specialø skyriø (baseinà). Po kiekvienu vamzdþiu yra metaliniai tuðeiviaiduriai rutuliai, kuriø skersmuo yra didesnis uþ vamzdþiø skersmenà. Uþpildþius ðà skyriø vandeniu rutuliai pakyla ir uþdaro vamzdþiø æėjimus, taip nutraukdami dujø tekėjimà ir izoliuodami ALS nuo aplinkos. Vandens lygis pakyla tiek, kad bûtø apsemta vamzdþiø apaèia, taip dar patikimiau izoliuojant ALS nuo aplinkos. Ðvaraus oro paðalinimas ið apsauginio kiauto patalpø avarijos praðioje leidþia sumaþinti maksimalø slėgà patalpose, todël statybinės konstrukcijos gali bûti ne tokios stiprios, kaip kituose apsauginiuose kiautuose. Toks ðvaraus oro paðalinimo principas nėra taikomas jokiuose kituose apsauginiuose kiautuose. Ávertinant slėgio sumaþėjimà dël oro paðalinimo ið ALS ir garo kondensacijà baseinuose projektinis perteklinis slėgis ALS bokðtø patalpose uþ kondensaciniø baseinø yra 80 kPa. Stiekiant iðvengti ALS struktûrinio paþeidimo, dujø sulaikymo patalpos lubose árengti du apsauginiai paneliai, kurie yra numuðami, jeigu slėgis patalpoje pasiekia projektinà

Reaktoriaus erdvės apsaugos sistema

RBMK-1500 reaktoriaus erdvæ sudaro konstrukcijos, parodytos 7 pav. RBMK-1500 reaktorius sudarytas ið 1661 kuro kanalo, kuriame yra po vienà kuro kasetà,



7 pav. RBMK-1500 reaktoriaus konstrukcijos ir projektiniai slėgiai [10]

1 – viršutiniai RE apsaugos vamzdynai, 2 – viršutinė metalo plokštė, 3 – rutulinė atrama, 4 – reaktoriaus aktyvioji zona, 5 – ðoninė biologinė apsauga, 6 – apatinė metalo plokštė, 7 – atrama, 8 – apatiniai RE apsaugos vamzdynai

apgaubtø neutronø lėtikliu, pagamintu ið grafito. Siekiant apsaugoti grafità nuo oksidacijos, reaktoriaus erdvė normalios eksploatacijos metu yra uþpildyta azoto ir helio dujø miðiniu. Trūkusi kuro kanalui ðilumneðis iðteka á reaktoriaus erdvæ, kurioje pradeda didėti slėgis, ir garo–dujø miðinys per viršutinius RE apsaugos vamzdynus yra nukreipiamas á viršutinà kondensacijos baseinà kairiajame ALS bokðte. Jeigu bûtø paþeista daugiau kuro kanalø ir slėgis toliau didëtø, tai bûtø numuðtos membranos, árengtos viršutiniuose ir apatiniuose RE apsaugos sistemos vamzdynuose ir garo–dujø miðinys bûtø nukreiptas á ALS stiprias-sandarias patalpas. 7 pav. parodyti reaktoriaus erdvės projektiniai slėgiai. Kaip matyti silpniausia RE vieta yra viršutinė metalo plokštė. Atlikus RE apsaugos sistemos analizæ buvo parodyta, kad Ignalinos AE reaktoriui dirbant maksimalia leistina galia (4200 MW) vienu metu gali trūkti net 14 kuro kanalø ir reaktoriaus erdvės vientisumas bus iðlaikytas [7]. Jeigu reaktoriaus galia ar slėgis reaktoriaus auðinimo kontûre yra maþesni, tai reaktoriaus erdvės apsaugos sistema gali iðlaikyti ir daugiau sutrūkusio kuro kanalø.

4. APSAUGINIUOSE KIAUTUOSE VYKSTANTYS PROCESAI

Branduoliniam reaktoriui veikiant normaliu reþimu apsauginiame kiaute ventilacijos sistemomis yra palaikomas slėgis, ðiek tiek maþesnis uþ atmosferos, taip uþkertant kelià radioaktyviosioms medþiagoms patekti uþ kiauto ribø. Taèiau būtina pabrėþti, kad egzistuoja ne oru, bet azoto dujomis uþpildyti apsauginiai kiautai, pvz., Ðvedijoje eksploatuojama branduolinė jėgainė Forsmark. Tokiø jėgainiø kiautai reaktoriui dirbant normaliu reþimu yra neventiliuojami ir jiems keliami ypaè aukšti sandarumo reikalavimai.

Avarijos metu ið reaktoriaus auðinimo kontûro á apsauginà kiautà iðtekant ðilumneðiui patalpose vyksta daug sudėtingø, sàveikaujanèiø procesø. Tokiø avarijø metu apsauginio kiauto patalpose kyla slėgis ir temperatûra. Iðtekantis garas kondensuojamas ne tik baseinuose, bet ir ant ávairiø statybinio konstrukcijø ir árangos pavirðiø, kondensaciniø baseinø auðinimo sistema tiekia vandenà á baseinus ir purkðtukus, per kuriuos purðkiamas vanduo kondensuoja garà, nusodina aerozolius ir

kitas daleles. Avarijos metu vyksta ir ávairūs cheminiai procesai, pvz., cheminė jodo sáveika su konstrukcijomis. Dėl reaktoriuje vykstančių procesų á patalpas gali patekti degiosios dujos, pvz., vandenilis, anglies monoksidas ir kt., kurių degimas yra dar vienas iš procesų. Avarijos metu veikia ir kitos susijusios inžinerinės sistemos, pvz., drenažas, reaktoriaus avarinio aušinimo sistema, turinčios átaką patalpose vykstantiems procesams.

Dėl susidariusio slėgio skirtumo (slėgis verdančio vandens reaktoriaus aušinimo kontūre ~7 MPa) dalis avarijos metu á patalpą ištekantį aukšto entalpijos šilumnešio išgaruoja. Likusi per trūką ištekėjusio šilumnešio dalis lieka patalpos atmosferoje vandens lašelio pavidalu ir atmosferos srautais gali būti pernešama á kitas patalpas arba nusėsti ant grindų dėl gravitacijos poveikio. Dėl patalpos atmosferoje esančio vandens lašelių padidėja atmosferos tankis. Kad atsirastų tekėjimas tarp skirtingų patalpų, reikalingi didesni slėgio skirtumai.

Jeigu vamzdyno trūkis yra pakankamai didelis, tai dėl greito didelio kiekio dujų átekėjimo á KB dalis baseino vandens gali būti pakelta aukščiau. Vėliau nesikondensuojančios dujos prasiveržia per vandená ir pakeltas vanduo krinta atgal á baseiną. Prasiveršusios dujos padidina slėgá patalpose už kondensacinio baseino. Šie procesai yra trumpalaikiai (trunka keletą sekundžių). Vėliau garas yra kondensuojamas baseinuose tol, kol slėgis reaktoriaus aušinimo kontūre sumažėja ir reaktorius ataušinamas. Priklausomai nuo garo srauto á kondensacinius baseinus ir vandens temperatūros gali vykti ávairūs procesai ne tik išėjime iš garo paskirstymo árenginių, bet ir pačiuose árenginiuose. Per KB pratekėjusių nesikondensuojančių dujų kiekis nulemia antriniame kiaute susidarant slėgá. Liekamoji šiluma nuo reaktoriaus pašalinama kartu su ištekantiu šilumnešiu, kuris vėliau patenka á kondensacinius baseinus arba drenažą. Tai ilgalaikiai procesai, galintys trukti valandas ar net keletą parų.

Slėgio ir temperatūros kitimas patalpose prieš kondensacinius baseinus (pirminiame kiaute) priklauso nuo ištekantio šilumnešio srauto, pirminio ir antrinio kiauto tūrio, dvifazio garo, vandens ir dujų tekėjimo tarp patalpų ir per garo paskirstymo árenginius ir nuo termodinaminio sąlygų antrinio kiauto patalpose.

Vandens išstūmimas iš garo paskirstymo árenginių priklauso nuo GPÁ nuleidžiamų vamzdžių panardinimo gylio, slėgio augimo spartos pirminiame ir antriniame kiautuose. Pirminis kiautas yra sujungtas patalpų sistema, taigi per reaktoriaus aušinimo kontūro trūką ištekantis šilumnešis skverbiasi

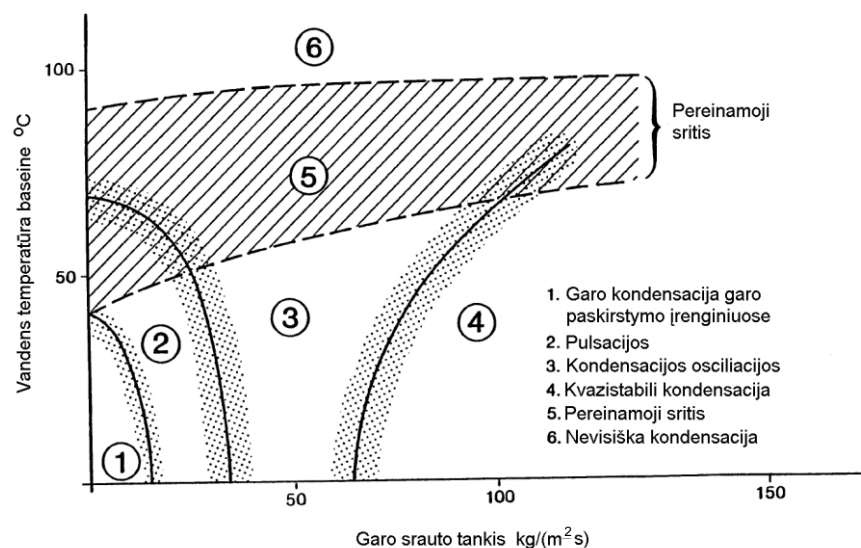
á gretimas patalpas per ávairias riboto ploto angas. Todėl būtina ávertinti slėgio skirtumus, susidarančius tarp šių patalpų, bei galimas srauto stagnacijos vietas, kuriose susikaupia nesikondensuojančios dujos.

Pradiniu avarijos metu galimas vandens pakėlimas kondensaciniame baseine átekančiu nesikondensuojančių dujų srautu priklauso nuo garo paskirstymo árenginių geometrinės formos, panardinimo gylio, dujų ir garo tekėjimo á KB spartos ir garo kondensacijos baseine. Srautai priklauso nuo slėgio augimo spartos pirminiame kiaute. Susidarantis oro burbulas kelia vandená aukščiau ir taip padidina slėgá antriniame kiaute. Šis efektas yra mažas, kai antrinio kiauto tūris yra daug didesnis už pirminio kiauto tūrą, tačiau šio efekto átaka gali stipriai išaugti, jeigu yra atvirkščiai. Vėliau dujų burbulas prasiveržia per virš jo esantį vandená ir pakeltas vanduo dėl gravitacijos krinta atgal á baseiną. Vykstant šiems procesams susidaro apkrovos KB konstrukcijoms.

Iš pirminio kiauto átekančios dujos áneša papildomá masę ir energijá á antriná kiautá. Jų poveikis gali būti didelis apsauginiuose kiautuose, kuriuose antrinio kiauto tūris yra mažesnis už pirminio kiauto tūrą. Energija iš pirminio á antriná kiautá gali būti pernešama ne tik dujų srautu, bet ir šilumos laidumu per ávairias konstrukcijas. Kartu su antriniame kiaute kylančia temperatūra didėja ir slėgis.

Bet kurios avarijos branduoliniėje jėgainėje metu yra svarbu, kad visas garas, patenkantis iš avarinio patalpų á vandens baseinus, būtų efektyviai kondensuojamas, t. y. būtina, kad nuleidžiamieji garo paskirstymo árenginių vamzdžiai visá laiká būtų apsemti ir kad vandens temperatūra nepasiektų soties. Jeigu vanduo KB užvirtų, garas nebūtų kondensuojamas ir galėtų tiesiogiai patekti á antrinio kiauto patalpas.

Garų kondensacija vandens baseine yra nestabilus sudėtingas reiškinys. 8 pav. parodyta tipinė kondensacijos rešimo schema. Ši schema pateikta



8 pav. Tipinė kondensacijos rešimo schema

tik kaip iliustracija, nes parodytos kondensacijos režimų sritys priklauso nuo švairių parametrų (nuleidžiamųjų vamzdžių geometrinės formos, panardinimo gylio). Kai energijos š struktūras ir konstrukcijas nukreipiama daug, palyginti su garo srautu, tai vanduo, esantis nuleidžiamuosiuose vamzdžiuose, nepasiekia šoties temperatūros. Jeigu garo kondensacijos sparta yra lygi garo srautui š avarinė patalpà, tai slėgis pirminio kiauto patalpose išlieka pastovus ir vanduo iš garo paskirstymo šrenginiš neištumiamas. Toks garo kondensacijos režimas galimas tik mažš ištekėjimš atveju arba ataušinus reaktoriš, kai susidaro mažai garo (1 sritis). Didėjant slėgiui avarinėse patalpose vanduo yra išstumiamas iš garo paskirstymo šrenginiš. Dšl gero maišymosi garas kondensuojasi netoli išėjimo iš GPÀ nuleidžiamųjų vamzdžių ir dšl staigios garo kondensacijos vandens frontas gràpta atgal š garo paskirstymo šrenginius ir kyla tol, kol pasiekiamas pusiausvyra tarp garo kondensacijos spartos ir štekanšio garo srauto. Všliau vanduo všl išstumiamas iš garo paskirstymo šrenginiš ir ciklas kartojasi (2 sritis). Šà režimà galima pavadinti pulsacijomis. Didėjant garo srautui, kondensacijos frontas (riba tarp garo ir vandens) negali gràpti atgal š garo paskirstymo šrenginius. Kondensacija vyksta netoli išėjimo iš GPÀ, kur susidaro savotiškas mažš garo burbulš sluoksnis. Šis režimas šinomas kondensacijos osciliacijš pavadinimu (3 sritis). Jeigu garo srautas dar padidšja, kondensacijos frontas stabilizuojasi toliau nuo išėjimo iš garo paskirstymo šrenginiš (4 sritis). Didėjant vandens temperatšrai baseine, padidšja ir vandens temperatšra prie kondensacijos fronto. Kad susidarytš reikiama garo šaveika su vandeniu, būtinas didesnis kondensacijos fronto judėjimas. Taigi didėjant vandens temperatšrai osci-

liacinis režimas suintensyvšja ir dšl to sunku apibršpti skirtingš kondensacijos režimš ribas. Ši sritis pašymšta 5 numeriu. 6 numeriu pašymšta sritis yra nevisiškos garo kondensacijos sritis ir jos reikia vengti „slėgio mašinimo“ apsauginiuose kiaučiuose. Nevisiška garo kondensacija pasireiškia, kai vandens temperatšra yra artima virimo temperatšrai.

Išvardyti kondensacijos režimai priklauso nuo dujų dalies štekanšiam šraute. Kuo didesnš dujų koncentracija, tuo labiau yra slopinamos slėgio pulsacijos.

Garui išštumus nesikondensuojanšias dujas (orà) iš pirminio kiauto, o všliau sumašėjus per trškà ištekanšio šilumnešio srautui, garo kondensacija vyksta ant statybiniš konstrukcijš ir švairios šrangos ar vamzdynš. Kondensacija gali bšti spartinama purškiant vandenà per purkštukus. Dšl garo kondensacijos patalpose gali susidaryti vakuumas, galintis pašeisti apsauginio kiauto konstrukcijas (pvz., pašeisti apsauginius metalo lakštus, dengianšius statybines konstrukcijas). Siekiant išvengti neigiamš vakuomo susidarymo padariniš, apsauginiuose kiaučiuose šrengiami vakuuminiai voštuvai.

Bština pašymšti, kad dšl struktšrinis nevientisumas (plyšis, šrškimš) ar šrangos (pvz., vakuuminiai voštuvai) garas gali patekti tiesiogiai š antrinà kiautà ir dšl sumašėjusios garo kondensacijos patalpose gali susidaryti aukštesnis slėgis.

5. IGNALINOS AE AVARIJŠ LOKALIZACIJOS SISTEMOS PALYGINIMAS SU KITŠ TIPŠ APSAUGINIAIS KIAUTAIS

Šiame skyriuje yra palyginti pagrindiniai Ignalinos AE avarijš lokalizacijos sistemos ir kitš „slėgio mašinimo“ apsauginis kiautš parametrai. Esminiai pa-

Lentelš. Ignalinos AE ALS parametrš palyginimas su kitš apsauginis kiaučiu parametrš [9]

	Šiluminš reaktoriaus galia MW	Pirminio kiauto tšris m ³	Antrinio kiauto tšris m ³	Vandens tšris KB m ³	Santykiniai dydšiai		
	G	V1	V2	Mv	G/V1	G/V2	G/Mv
Ignalinos AE ALS	4800*	20600**	28330	2800	0,23	0,17	1,71
Mark I (JAV)	3300	4500	4500	3300	0,73	0,73	1,00
Mark II (JAV)	3300	5700	4100	3100	0,58	0,80	1,06
Mark III (JAV)	3800	7900	33000	4100	0,48	0,12	0,93
Mark I (Japonija)	3300	8800	3800	5300	0,38	0,87	0,62
Mark II (Japonija)	3300	8700	4000	5700	0,38	0,83	0,58
KWU-69 (Vokietija)	3800	5000	2700	3700	0,76	1,41	1,03
KWU-72 (Vokietija)	3800	8500	6000	3100	0,45	0,63	1,23
BWR, Išoriniai PCS (Švedija)	1800	5000	3000	1900	0,36	0,60	0,95
BWR, Vidiniai PCS (Švedija)	3000	5800	2900	3200	0,52	1,03	0,94
VVER 440/213	1375		16000	1250		0,086	1,1

* Ignalinos AE su RBMK-1500 reaktoriais nominali šiluminš galia – 4800 MW, tašiau šiuo metu maksimali leistina galia – 4200 MW.

** Stiprios-sandarios patalpos kartu su AGPK, nes maksimalios projektinš avarijos atveju paveikiamos tik šios patalpos.

rametrai, apibūdinantys bet kurą „slėgio mašinimo“ apsauginą kiautą, yra pirminio ir antrinio kiautų tūriai ir vandens atsarga KB. Lentelėje palyginti švairių apsauginių kiautų ir Ignalinos AE avarijų lokalizacijos sistemos pagrindiniai parametrai. Analizuojant lentelėje pateiktus duomenis seka, kad, palyginti su kitais apsauginiais kiautais, bendras ALS patalpų tūris yra didesnis. Tačiau siekiant palyginti atskirų tipų apsauginius kiautus, neužtenka lyginti absoliučius dydžius ir dažniausiai yra lyginami santykiniai dydžiai, tokie kaip patalpų tūris, tenkantis reaktoriaus galios vienetui. Lentelėje matyti, kad Ignalinos AE reaktoriaus šiluminės galios santykis su pirminio kiauto tūriu yra mažesnis, palyginti su kitomis branduolinėmis jėgainėmis. Tai reiškia, kad avarijos atveju Ignalinos AE avarijų lokalizacijos sistemos patalpose galima tikėtis lėtesnio slėgio augimo. Lygindami reaktoriaus galios santyką su antrinio kiauto tūriu galime pastebėti, kad, išskyrus Mark III tipo apsauginą kiautą, šis santykis palankesnis ALS. Tačiau lygindami vandens kiekį KB, skirtą kondensuoti avarijos metu išsiveržusią garą, matome, kad Ignalinos AE reaktoriaus galios vienetui tenka mažiau vandens, bet būtina atkreipti dėmesį į tai, kad ALS yra karšto kondensato kameros, kuriose sukauptas vanduo naudojamas aušinti KB avarijos metu. Ávertinus vandenį, sukauptą KKK (500 m³ vandens kiekviename ALS bokšte), reaktoriaus galios ir vandens tūrio santykis priartėtų prie santykio, būdingo kitiems apsauginiams kiautams. Pavyzdžiui, kad lentelėje pateikti santykiniai dydžiai apskaičiuoti pagal nominalią RBMK-1500 šiluminę galią (4800 MW), tačiau po avarijos Černobylio AE maksimali leistina galia Ignalinos AE yra sumažinta iki 4200 MW. Ávertinus ir šį faktą, Ignalinos AE ALS pagal galios ir vandens masės santyką dar labiau priartėtų prie kitų apsauginių kiautų, o KWU-72 ir aplenkto.

Lentelėje nurodytuose „slėgio mašinimo“ kiautuose (išskyrus ALS) yra vienas kondensacinis baseinas, kurio gylis ~7 m. Kitaip negu Ignalinos AE, šis baseinas naudojamas ir kaip rezervuaras reaktoriaus avarinio aušinimo sistemai.

6. ĮVADOS

Dažnai skelbiama nuomonė, kad Ignalinos AE neturi jokio apsauginio kiauto, yra neteisinga, nes avarijų lokalizacijos sistema ir reaktoriaus erdvės apsaugos sistema atlieka apsauginio kiauto funkciją.

Ignalinos AE avarijų lokalizacijos sistema yra „slėgio mašinimo“ apsauginis kiautas, kurio parametrai gali būti palyginti su bet kurioje kitoje jėgainėje įrengto kiauto parametrais. Dvaraus oro iš avarijų lokalizacijos sistemos pašalinimo sistema leidžia išvengti didelio slėgio patalpose, todėl ALS statybinės konstrukcijos yra apskaičiuotos mažesniajam slėgiui nei kituose kiautuose.

Sutrumpinimai

AE	– atominė elektrinė
AGPK	– apatinė garų priėmimo kamera
ALS	– avarijų lokalizacijos sistema
DSP	– dujų sulaikymo patalpa
GPÁ	– garo paskirstymo ėrenginys
GPK	– grupinis paskirstymo kolektorius
KB	– kondensacinis baseinas
KKK	– karšto kondensato kamera
RE	– reaktoriaus erdvė
VGPK	– viršutinė garų priėmimo kamera

Gauta 2005 11 15

Literatūra

1. Gylys J. Branduolinės inžinerijos ávadas. Kaunas: Technologija, 1997.
2. Almenas K., Lee R. Nuclear Engineering. An introduction. Springer-Verlag, 1992.
3. Almenas K., Kaliatka A., Ušpuras E. Ignalina RBMK-1500. A Source Book (extended and updated version). Lithuanian Energy Institute, 1998.
4. Pressure suppression system containments. A state-of-the-art report by a group of experts of the NEA/CSNI, CSNI report 126, 1986.
5. Pershagen B. Light water reactor safety. Pergamon press, 1989.
6. The status of the bubbler condenser containment system for the reactor of the VVER-440/213 type, NEA/CSNI/R(98)13, 1998.
7. SOAR on Containment Thermalhydraulics and Hydrogen Distribution, prepared by an OECD/NEA Group of Experts, 1999.
8. Marin C., Rizoiu A. Specifications for ASTEC adaptation on CANDU type reactor, Preliminary Report for D35, 2005.
9. Urbonavičius E. Termohidraulinių procesų patalpose ávykus avarijoms su šilumnešio praradimais modeliavimas. Daktaro disertacija. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2003.
10. Cesna B., Rimkevičius S., Urbonavičius E., Babilas E. Reactor cavity and ALS thermal-hydraulic evaluation in the case of fuel channels ruptures at Ignalina NPP // Nuclear Engineering and Design. 2004. Vol. 232. P. 57–73.

**Mantas Povilaitis, Egidijus Urbonavičius,
Sigitas Rimkevičius**

CONFINEMENTS OF NUCLEAR POWER PLANTS AND PROCESSES IN CONFINEMENTS

Summary

In order to protect the public, environment and workers from the radiation hazards, nuclear power plants are equipped with the barriers that limit the spreading of the radioactive material. The last barrier, which prevents the radioactive material

from release into the environment, is the containment or confinement, which encloses the piping of the reactor cooling system and the reactor itself. The Accident Localisation System and the Reactor Cavity which employs the pressure suppression principle perform a function of containment at the Ignalina NPP with an RBMK-1500 reactor. The paper presents a review of the containment / confinement types available around the world, discusses their main features, presents the processes that occur in the containments / confinements and compares the key parameters of the Ignalina NPP Accident Localisation System with other containments / confinements.

Key words: nuclear power plant, confinement

Į aīoāñ ĩ īāēēāēōēñ, Ÿāēāēþñ Ōđāīīāēþñ,
Ñēāēōāñ Đēī ēyāēþñ

ÇĀŪ ĒŌĪ ŪĀ Ĩ ĀĪ ĒĪ ×ĒĒ ĀŌĨ Ĩ Ĩ ŪŌ
ŸĒĀĒŌĐĨ ŨŌĀĪ ŌĒĒ Ē Ĩ ĐĨ ĒŨŌĨ ĀĬŪ ĒĀ Ā
Ĩ ĒŌ Ĩ ĐĨ ŌĀŨŨŌ

Đāçþī ā
Āēy çāūēōū æēōāēāē, ĩēđōæāþūāē ñđāāū ē
đāāīōī ēēī ā āōīīīē yēāēōđī ñōāī ōēē ĩō đāāēāōēē ĩ ā

āōī Ĩ Ĩ ŪŌ ñōāī ōēyō ōñōāī īāēāī Ū āāđūāđŪ,
ĩ đāī yōñōāōþūēā đāñī đī ñōđāī āī ēþ đāāēī āēōēāī ŪŌ
āāūāñōā. Ĩ Ĩ ñēāāī ēī āāđūāđīī, ĩ ā āī īōñēāþūēī
ĩ Ĩ īāāāī ēy đāāēī āēōēāī ŪŌ āāūāñōā ā ĩēđōæāþūōþ
ñđāāō, yāēyāōñy çāūēōī āy ĩ āī ēī +ēā (āī āē. contain-
ment ēēē confinement), ĩ đāāōūāāþūāy ōđōāī Ĩ đī āī āū
ēī īōđā ĩ ōēāēāāī ēy đāāēōī đā ē ñāī đāāēōī đ. Ĩ ā
Ēāī āēēī ñēī ē ĀŸŨ ñ đāāēōī đī Ĩ ĐĀĪ Ē-1500
Ōōī ēōēþ çāūēōī ĩ ē ĩ āī ēī +ēē āūī ĩ ēī yþō ñēñōāī ā
ēī ēāēēçāōēē āāāđēē ē đāāēōī đī ĩ ā ĩ đī ñōđāī ñōāī, ā
ēī ōī đŪŌ ēñī ĩ ēūçōāōñy ĩ đēī ōēī «ñī ēāāī ēy
āāāēāī ēy». Ā ñōāōūā ĩ đāāñōāēāī ĩ āçī đ
ñōūāñōāōþūēō ā ĩ ēđā ōēī ĩ ā çāūēōī ŪŌ ĩ āī ēī +āē ē
āēāāī ŪŌ ēō ĩ ñī āāī ĩ ĩ ñōāē, ĩ ĩ ēñāī Ū ĩ đī ōāññŪ,
ĩ đī ēñōī āyūēā ā ĩ ĩ āūāī ēyō çāūēōī ŪŌ ĩ āī ēī +āē, ā
ōāēæā ĩ đāāñōāēāī Ĩ ñđāāī āī ēā ĩ āđāī āōđī ā ñēñōāī Ū
ēī ēāēēçāōēē āāāđēē ĩ ā Ēāī āēēī ñēī ē ĀŸŨ ñ
ĩ āđāī āōđāī ē āđōāēō çāūēōī ŪŌ ĩ āī ēī +āē.

Ēēþ-āāūā ñēī āā: āōī ĩ āy yēāēōđī ñōāī ōēy,
çāūēōī āy ĩ āī ēī +ēā