Visagino AE technologija – pažangusis verdančio vandens reaktorius ABWR

2 psl. Principinė ABWR reaktoriaus schema

3 psl. Pagrindiniai ABWR ir BWR techniniai duomenys

4 psl. Reaktorių kartos

5 psl. ABWR reaktoriaus privalumai

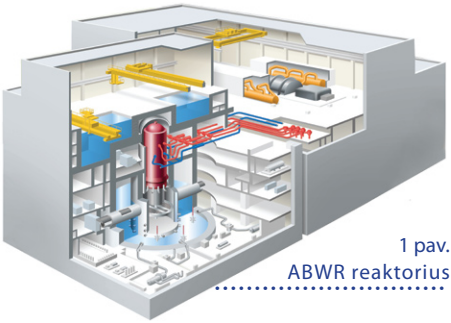
6–10 psl. ABWR reaktoriaus technologiniai patobulinimai

11–12 psl. Branduolinis kuras

Pasirinkus naujosios Visagino atominės elektrinės (AE) strateginį investuotoją „Hitachi.Ltd“, bus statomas III kartos pažangusis verdančio vandens reaktorius (ABWR, angl. *Advanced Boiling Water Reactor*).

ABWR reaktorius atitinka visus Europos Sąjungos keliamus reikalavimus branduolinių reaktorių saugumui.

JAV branduolinės energetikos reguliatorius (NRC) įvardijo ABWR reaktorių kaip pažangiausią ir saugiausią šiuo metu rinkoje esančią technologiją, kurios saugos lygis yra didesnis už griežčiausius saugai ir saugos užtikrinimui keliamus reikalavimus.



1 pav.
ABWR reaktorius

ABWR reaktoriai yra vieninteliai pasaulyje naujausi III kartos (pagal saugos lygį gali būti priskiriami net III+ kartai) reaktoriai, kurie yra išbandyti praktikoje, t. y. elektrinės su šiais reaktoriais jau yra eksploatuojamos.

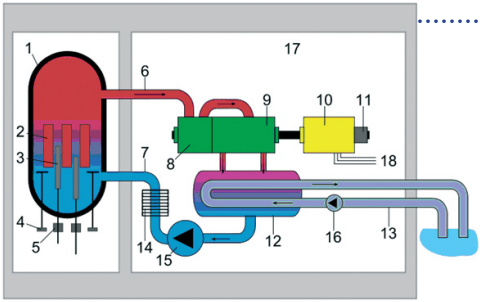
Pažangusis verdančio vandens reaktorius ABWR, sukurtas pagal patobulintus ankstesnius Europos šalių, Japonijos ir JAV verdančio vandens reaktorių projektus, panaudojant geriausias jų savybes bei atsižvelgiant į ilgametę šių reaktorių eksploatavimo patirtį.

Šiuo metu 4 ABWR reaktoriai eksploatuojami Japonijoje. Nauji ABWR reaktoriai statomi Japonijoje ir Taivanyje. Taip pat ABWR reaktorius siūloma statyti JAV, Suomijoje, Turkijoje, Vietname ir Lietuvoje.

VAE
Visagino atominė elektrinė

Principinė ABWR reaktoriaus schema

Verdančio vandens reaktoriai veikia vieno kontūro atominėje elektrinėje. Vanduo tokiame reaktoriuje užverda aktyviojoje zonoje. Susidaręs garas keliauja į garo turbiną, joje plečiasi, sukdamas turbiną, o ši – elektros generatorių. Po turbinos atidirbęs garas sukondensuojamas, kondensacijos šilumą pašalinant į šaltesnio vandens telkinį arba aušinimo bokštą. Kondensatas grąžinamas atgal į reaktorių.



2 pav. ABWR reaktoriaus schema

1 – reaktoriaus korpusas, 2 – branduolinis kuras, 3 – valdymo strypas, 4 – vidinis cirkuliacinis siurblys, 5 – valdymo strypo variklis, 6 – garo linija, 7 – kondensato linija (maitinimo vandens), 8 – aukšto slėgio turbina, 9 – žemo slėgio turbina, 10 – elektros generatorius, 11 – generatoriaus sužadintuvas, 12 – garo kondensatorius, 13 – kondensatoriaus aušinimo vanduo, 14 – pašildytuvas, 15 – pagrindinis cirkuliacinis siurblys, 16 – kondensatorių aušinančio vandens siurblys, 17 – turbinų salė, 18 – elektros linijos

ABWR ir BWR technologijų palyginimas

Atominė elektrinė su ABWR reaktoriumi, lyginant su verdančio vandens reaktoriumi (BWR, angl. *Boiling Water Reactor*), skiriasi modernesniu reaktoriumi, pagerinta jo sauga, paprastesne konstrukcija, lengvesniu valdymu ir didesniu ekonomiškumu. Nors išoriškai įvairių kartų verdančio vandens reaktorių korpusai bei vidaus įrangos išdėstymas yra panašūs, tačiau skiriasi kai kurios sistemos ir jų funkcijos.

Keletas esminių bruožų, kurie skiria ABWR reaktorius nuo senųjų BWR reaktorių:

- Įrengtos net trys nepriklausomos ir dubliuojančios saugos sistemos. Kitaip, nei BWR reaktoriuose, minėtos sistemos yra visiškai mechaniškai ir fiziškai atskirtos. Jos įrengtos skirtingose patalpose, prijungtos prie atskirų dubliuotų energijos šaltinių. Sutrikus netgi dviem saugos sistemoms, trečioji visiškai užtikrins reaktoriaus stabdymą ir aušinimą.
- Įdiegtas dar vienas papildomas elektros energijos šaltinis – dujų turbina, kuri veikia visiškai nepriklausomai tiek nuo išorinio energijos tiekimo, tiek nuo AE atsarginių energijos generavimo šaltinių (akumuliatorių, dyzelių, RCIC) veikimo. Visiško elektros tiekimo sutrikimo

atveju ši turbina gali užtikrinti elektros, reikalingos gyvybinėms AE funkcijoms palaikyti, gamybą.

- Visiškai kompiuterizuota (skaitmeninė) reaktoriaus apsaugos sistema, todėl paprastesnis ir patikimesnis reaktoriaus valdymas, personalo darbas.

Pagrindiniai ABWR ir BWR techniniai duomenys

Parametrai	ABWR	BWR
Elektrinė galia, MWe	1350	1100
Šiluminė galia, MWt	3926	3293
Slėgis reaktoriuje, MPa	7,2	7,1
Maitinimo vandens temperatūra, °C	215	215
Kuro rinklių skaičius	872	764
Valdymo strypų skaičius	205	185
Reaktoriaus korpuso skersmuo, aukštis, m	Apie 7,1, apie 21	Apie 6,4, apie 22
Reaktoriaus vandens recirkuliacijos sistema	Vidiniai siurbliai (10)	Išoriniai siurbliai (2) + inžektoriai (20)
Galios valdymas	Tikslaus judesio sistema	Hidraulinė judesio sistema
Greitas stabdymas (*SCRAM*)	Hidraulinis	Hidraulinis
Aktyviosios zonos avarinio aušinimo sistema (*AZAAS*)	Žemo slėgio užliejimas (3 sistemos)	Žemo slėgio užliejimas (3 sistemos)
	Aukšto slėgio užliejimas (2 sistemos)	Žemo slėgio įpurškimas (1 sistema)
	Reaktoriaus aktyviosios zonos izoliavimo aušinimo sistema (RAZIS)	Aukšto slėgio aktyviosios zonos apipurškimo sistema
	Automatinė slėgio mažinimo sistema	Automatinė slėgio mažinimo sistema
Likutinės šilumos šalinimo sistema	3 sistemos (bendrai naudojamos)	2 sistemos (bendrai naudojamos)
Apsauginis kevalas	Sustiprinto betono vientiso tipo pastatas	Mark-I arba plieninis, Mark-II kevalai
Pagrindinės garo turbinos šiluminis ciklas	Su 2 pakopų tarpiniu garo pašildymu	Be tarpinio garo pašildymo

Reaktorių kartos

Pagal saugos lygį ir panaudotų techninių ir technologinių sprendimų pobūdį branduoliniai reaktoriai skirstomi į kartas.

I kartos reaktoriai – ankstyvieji energetinių reaktorių prototipai, sukurti 1950–1960 m. (Šiuo metu jų eksploatavimas sustabdytas, išskyrus Jungtinėje Karalystėje veikiančius kelis „Magnox" reaktorius).

II (ar II+) kartos reaktoriai šiuo metu sudaro daugumą pasaulyje eksploatuojamų energetinių reaktorių. Daugiausia šių reaktorių pastatyta ir pradėta eksploatuoti 1970–1990 m. Jie buvo gaminami iki 1990 m.

III (ir III+) kartai priskiriamos tik pačios naujausios pažangiųjų (evoliucinių) reaktorių technologijos, pasižyminčios ne tik patobulinta sauga, mažesne aktyviosios zonos pažeidimo tikimybe, bet ir didesniu ekonomiškumu.

Šios kartos reaktorių projektai buvo sukurti vėlyvaisiais 1990–2010 m., tačiau be jau eksploatuojamų ABWR reaktorių, kitų tipų (AP-1000, EPR, AES-2006) reaktoriai dar tik statomi. Pirmieji šios kartos reaktoriai pradėti eksploatuoti Japonijoje 1996 m.

III+ kartos reaktoriai nuo III kartos reaktorių skiriasi tuo, kad III+ kartos reaktorių projektuose dar labiau įdiegtos pasyviosios saugos sistemos, kurioms nebūtina aktyvi kontrolė arba papildomi reaktoriaus operatoriaus veiksmai užtikrinant saugą incidentų atveju. Šių sistemų veikimas pagrįstas fizikiniais reiškiniais, t. y. natūralia gravitacija, natūralia konvekcija ar temperatūros ir slėgio skirtumais.

IV kartos evoliucinių reaktorių technologijos vis dar yra tik koncepciniame projektavimo etape, pirmųjų tokių reaktorių prototipų tikimasi ne anksčiau kaip po keleto dešimtmečių.

Palyginus su ankstesnių kartų technologijomis, ABWR pasižymi:

- *kiekvienai AE branduolinis reaktorius kuriamas pagal standartinį projektą. Tai supaprastina ir pagreitina licencijavimo procedūrą, sumažina statybos ir projektavimo išlaidas, sutrumpina reaktoriaus statybos trukmę,*
- *palengvintas reaktoriaus valdymas. Reaktoriaus veikimas tapo mažiau priklausomas nuo valdymo sutrikimų, klaidingų operatoriaus veiksmų,*
- *didesnis galios išnaudojimo koeficientas, gerokai ilgesnė eksploatavimo trukmė,*
- *labai sumažinta incidentų su reaktoriaus aktyviosios zonos išsilydimu galimybė.*

ABWR reaktoriaus privalumai

Kas padaryta	ABWR patobulinimai
Panaudota patirtis	Projektas parengtas bendradarbiaujant pagrindiniams atominių elektrinių su verdančio vandens reaktoriais BWR projektuotojams.
Supaprastintas ir patobulintas projektas	1) Visiškai atsisakyta išorinių šilumnešio cirkuliacinių kilpų ir išorinių recirkuliacinių siurblių (siekiant išvengti potencialios avarijos su šilumnešio praradimu galimybės). 2) Recirkuliaciniai siurbliai įrengti reaktoriaus viduje, kas sumažina išorinių vamzdynų ir sklendžių kiekį.
Pasiektas lankstesnis eksploatavimas ir didesnė energijos bloko galios išnaudojimo galimybė	1) Pagerintas šiluminis efektyvumas panaudojant didelio efektyvumo turbiną su dviejų etapų drėgmės separatoriais-perkaitintojais bei maitinimo vandens pašildymo sistemą. 2) Automatizuota reaktoriaus valdymo sistema ir naudojami valdymo strypų judesio mechanizmai su tikslaus pozicionavimo sistema labai palengvina operatoriaus darbą. 3) ABWR reaktoriaus eksploatavimo laikas pailgėja iki 60 metų.
Pagerinta sauga ir patikimumas	1) Naudojant vidinius recirkuliacijos siurblius, panaikinta avarijos su šilumnešio praradimu potenciali galimybė. 2) Saugų reaktoriaus sustabdymą užtikrina elektra varomi valdymo strypų judesio mechanizmai su nepriklausoma staigia hidrauline strypų įvedimo funkcija. 3) Apsauginis reaktoriaus kevalas su reaktoriaus korpusu sudaro vientisą integruotą, žemės drebėjimams atsparią konstrukciją. 4) Trys nepriklausomos aukšto slėgio avarinio aušinimo sistemos leidžia užtikrinti gerokai mažesnį reaktoriaus aktyviosios zonos pažeidimo dažnį, lyginant su senesnės kartos BWR reaktoriais. 5) Visiškai skaitmeninė sumani paskirstyto valdymo informacinė sistema su išvystyta žmogaus-mašinos sąsaja užtikrina valdymo ir informavimo sistemos vientisumą ir funkcionalumą.
Pritaikius pažangias technologijas sutrumpintas statybos laikas, pagerinti ekonominiai rodikliai	1) Modulinių technologijų ir integruoto 3D kompiuterizuoto inžinerinio projektavimo pritaikymas leidžia efektyviai sutrumpinti statybų trukmę. 2) Tiesioginė garo gamybos sistema reiškia, kad eksploatavimo eigoje nereikės sudėtingų garo generatorių pakeitimo procedūrų, būdingų PWR tipo reaktoriams. Tai sumažina ABWR tipo AE eksploatavimo išlaidas ilgalaikėje perspektyvoje.

ABWR reaktoriaus technologiniai patobulinimai

1 Vidiniai siurbliai

Šilumnešio recirkuliacijai reaktoriaus slėgiminio korpuso apačioje įrengta 10 reaktoriaus vidinių siurblių vietoje senesnės konstrukcijos BWR naudotų išorinių recirkuliacijos siurblių.
Taigi ABWR daugiau nebereikia jokių išorinių cirkuliacijos kilpų, jokių išorinių vamzdynų apatinėje reaktoriaus korpuso dalyje, todėl korpuso struktūra tapo gerokai paprastesnė (žr. 3 pav.).

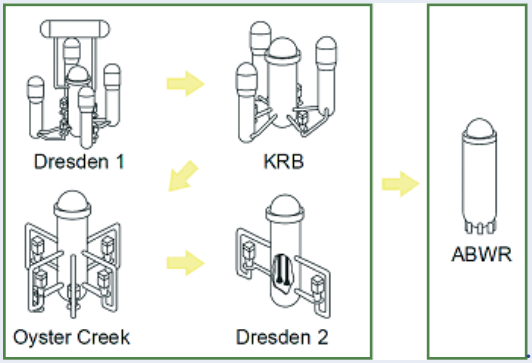
Atsisakius didelio diametro vamzdynų pajungimo apatinėje reaktoriaus korpuso dalyje, sunkios avarijos tikimybė yra sumažinta iki minimumo.

Šis projektinis sprendimas pagerino visus bendrus ABWR reaktorių branduolinės saugos aspektus!

2 Valdymo strypų judesio mechanizmai

Siekiant užtikrinti aukštą ABWR reaktorių eksploatavimo kokybę, buvo sukurti valdymo strypų judesio mechanizmai su tikslaus pozicionavimo sistema.

- Valdymo strypų judesio mechanizmai valdomi elektros motorais. Tai leidžia operatoriui tiksliai kontroliuoti reaktoriaus galią.
- Tai taip pat leidžia sutrumpinti reaktoriaus paleidimo laiką, reikalingą pasiekti nominalų galios lygį.
- Atskira nepriklausoma nuo elektros maitinimo hidraulinė judesio mechanizmų valdymo sistema, kurioje naudojamas suslėgtas vanduo, avariniu atveju patikimai užtikrina greitą valdymo strypų įvedimą į aktyviąją zoną ir staigų reaktoriaus sustabdymą.



3 pav.
BWR reaktorių evoliucija

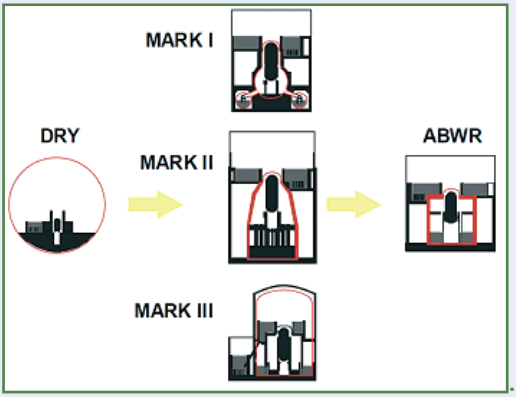
3 Drėgmės separatorius-perkaitintuvas

Drėgmei pašalinti iš garų srauto, išeinančio iš aukšto slėgio turbinos, ir perkaitinti garui ABWR reaktoriaus turbinos sistemoje įrengtas drėgmės separatorius-perkaitintuvas.
Naudojant drėgmės separatorių-perkaitintuvą gaunamas 3,4 % didesnis ABWR reaktorių turbinos sistemos šiluminis efektyvumas lyginant su senesnio tipo BWR reaktorių turbinų sistemomis.

4 Apsauginis reaktoriaus kevalas

Apsauginis reaktoriaus kevalas yra cilindrinės formos korpusas, pagamintas iš gelžbetonio, padengto plieno lakštais. Tai pirminis apsauginis gaubtas.
Kadangi apatinėje reaktoriaus slėgiminio korpuso dalyje nėra recirkuliacijos kontūro vamzdynų, ABWR reaktorių kevalas yra kur kas mažesnis nei ankstesnių BWR reaktorių (žr. 4 pav.). Atitinkamai yra mažesnis ir pats ABWR reaktorių pastatas.

Tai sumažino reaktoriaus statybų trukmę, reaktoriaus pastato statybai reikalingų medžiagų kiekį.



4 pav.
BWR reaktorių apsauginio kevalo evoliucija

5 Matavimo ir valdymo sistemos

ABWR reaktoriuje įdiegta šiuolaikinė patikima ir kokybiška skaitmeninė matavimo ir valdymo sistema.

- Skaitmeninė reaktoriaus valdymo sistema (su atsarginiu skaitmeniniu ir rankinio valdymo dubliavimu) suteikia galimybę valdymo bloko operatoriams lengvai ir greitai kontroliuoti energijos bloko veikimą ir jame vykstančius procesus.
- Skaitmeninė reaktoriaus apsaugos sistema turi 4 fiziškai atskirtus ir nepriklausomus matavimo bei stabdymo signalo inicijavimo kanalus.
- Ši sistema, esant avarinėms situacijoms, inicijuoja tiek staigų hidraulinį, tiek pagalbinį elektrinį, jei sutriktų hidraulinis, valdymo strypų įvedimą į aktyviąją zoną ir avarinį reaktoriaus sustabdymą.
- Itin mažai tikėtinais avariniais atvejais, sutrikus avariniam reaktoriaus stabdymui valdymo strypais, paleidžiama atsarginė skysta reaktyvumo reguliavimo sistema.
- ABWR technologija užtikrina, kad reaktorius nebus sustabdytas dėl vienetinio klaidinančio signalo, atsiradusio sutrikus kokiam nors matavimo instrumento veikimui. Tokiu atveju pasirūpinta, kad nestabdant reaktoriaus būtų galima atlikti vieno iš matavimo kanalų remontą.
- Žmogaus-mašinos sąsaja pagrindiniame valdymo pulte organizuota naudojant plačiaekranius displėjus ir atskirus plokščius monitorius.
- ABWR reaktoriaus paleidimo bei planinio stabdymo procesas yra visiškai automatizuotas, o Automatinė galios reguliavimo bei Galios generavimo ir valdymo sistemos valdo galią ir kontroliuoja, kaip veikia pagalbiniai įrenginiai bei sistemos.
- Integruotas automatinis ABWR reaktoriaus valdymas ir gerokai trumpesnės reaktoriaus sustabdymo bei paleidimo operacijos palengvina visų operatorių darbą, o energijos bloko eksploatavimas tampa labiau efektyvus.

6 ABWR saugos sistemos

- Siekiant pagerinti saugos lygį, projektuojant ABWR reaktorių buvo siekiama sumažinti reaktoriaus aktyviosios zonos pažeidimų dažnį. Tai padaryta pagerinus didelio slėgio **„Aktyviosios zonos avarinio aušinimo sistemos“** (AZAAS) ir **„Likutinio šilumos nuvedimo sistemos“** funkcionalumą bei avarinį elektros energijos tiekimą.
- Suprojektavus reaktoriaus vidinius cirkuliacijos siurblius ir atsisakius didelio diametro vamzdynų prijungimo prie reaktoriaus korpuso, buvo eliminuota šilumnešio praradimo žemiau aktyviosios zonos viršaus galimybė. Todėl tapo kur kas paprasčiau AZAAS sistemomis užtikrinti ir palaikyti šilumnešio lygį aukščiau aktyviosios zonos viršaus avarijų su šilumnešio praradimu atvejais.
- ABWR reaktoriuose įdiegta patobulinta iš trijų nepriklausomų kanalų susidedanti AZAAS sistema. Kiekviename kanale yra įrengti ir aukšto slėgio, ir žemo slėgio reaktoriaus aktyviosios zonos užliejimo aušalu siurbliai bei šilumos nuvedimo priemonės.
- Kiekvienas AZAAS kanalas visiškai nepriklausomai nuo kitų kanalų gali užtikrinti pakankamą reaktoriaus aušinimą esant maksimaliai projektinei avarijai ir vienetiniams įrenginių gedimams. Taip pat kiekvienas kanalas gali sustabdyti tolesnį avarijos vystymąsi dar iki reaktoriaus aktyviosios zonos nuvandenimo pradžios, net ir visiškai praradus išorinį elektros energijos bei maitinimo vandens tiekimą.
- Kad būtų greičiau reaguojama į pereinamuosius procesus, papildomai ABWR reaktoriuose prie maitinimo vandens tiekimo sistemų įdiegtos ir trys aukšto slėgio aušalo įpurškimo sistemos.
- Siekiant užtikrinti ABWR reaktoriaus Avarinio aktyviosios zonos aušinimo ir Likutinio šilumos nuvedimo sistemų veikimą, įrengti **trys dyzeliai-generatoriai**. Dyzeliai-generatoriai tiekia elektros energiją, jei visiškai nutrūksta išorinis elektros energijos tiekimas.
- Be to, ABWR reaktoriuose įtaisyta dar viena papildoma sistema – **dujų turbina**, skirta tiekti elektrą svarbioms, bet saugai nekritiškoms sistemoms, jei prarandamas išorinis elektros tiekimas.
- Susidarius itin mažai tikėtinai situacijai – jei nebeveiktų visi dyzeliai-generatoriai, dujų turbinos generuojama elektros energija būtų nukreipta ir į AZAAS sistemos kanalus.
- Dar daugiau – viename iš ABWR reaktoriaus AZAAS kanalų įrengta **„Reaktoriaus aktyviosios zonos izoliavimo aušinimo sistema“** (RAZIS), kurioje aukšto slėgio reaktoriaus aušinimo siurblys yra sukamas turbinos, naudojančios likutinį sustabdyto reaktoriaus generuojamą garą. Taip užtikrinamas

reaktoriaus aktyviosios zonos savaiminis aušinimas pasyviuoju būdu, net jei visiškai nebetiekiama elektros energija.

- Kad RAZIS veiktų, nereikia jokio išorinio elektros energijos tiekimo, kaip nėra būtini ir kiti avariniai elektros energijos tiekimo šaltiniai – dyzeliai-generatoriai, dujų turbina, pirminiai atsarginiai akumuliatoriai, priešgaisrinės sistemos dyzeliniai siurbliai.
- ABWR reaktoriuose įrengta **18 apsaugos nuo padidinto slėgio vožtuvų**, 10 iš jų yra **„Automatinės slėgio mažinimo sistemos“** dalis. Jie užtikrina, kad bet kokie įvykiai, galintys sukelti slėgio viršijimą reaktoriaus korpuse, greitai likviduojami, o esant būtinybei slėgis reaktoriuje gali būti staigiai sumažintas iki lygio, kuriame gali būti panaudotos mažo slėgio reaktoriaus aktyviosios zonos užliejimo aušalu sistemos.
- ABWR reaktorių mažo slėgio reaktoriaus aktyviosios zonos užliejimo aušalu sistemos yra kur kas efektyvesnės palyginus su senesniuose BWR modeliuose naudojamomis mažo slėgio aušalo įpurškimo sistemomis.
- Be to, ABWR reaktoriuose šios sistemos gali veikti ir prie didesnių slėgių nei standartinės BWR sistemos. Prie didesnių slėgių veikiančios sistemos užtikrina patikimą reaktoriaus šerdies aušinimą esant vidutinio dydžio įtrūkiams, kai natūralus slėgio praradimas vyksta per lėtai, kad būtų galima panaudoti standartines BWR žemo slėgio įpurškimo sistemas, tačiau slėgis mažėja per greitai, kad reaktoriaus aušinimą būtų galima užtikrinti projektinėmis aukšto slėgio aušinimo sistemomis.

Papildomos saugos sistemos

Dirbant reaktoriui jo apsauginis kevalas yra užpildytas azotu ir nuolat ventiliuojamas, taip pašalinama grėsmė, kad susikaupus vandeniliui ir susidarius sprogiam dujų mišiniui bus pažeistas apsauginis gaubtas.

- Po ABWR reaktoriaus korpusu yra įrengtas ypač storas bazaltu sustiprintas betoninis pagrindas, skirtas sulaikyti ypač sunkių mažai tikėtinų avarijų atveju ištekėjusiam lydalui, ir numatyta šio apatinio betoninio pagrindo aušinimo galimybė pasyviomis priemonėmis vandeniu iš slėgiminių kamerų.
- Numatyta ir priešgaisrinės saugos sistemų ir / ar vandens kondensato paruošimo sistemų rankinio pajungimo galimybė reaktoriaus aktyviosios zonos aušinimui.
- Siekiant išvengti katastrofinio reaktoriaus apsauginio kevalo pažeidimo ir tuo pačiu užtikrinant, kad radioaktyvūs produktai bus sulaikti kevale, numatytas slėgiminių kamerų ventiliavimas pasyviuoju būdu panaudojant plyštančias membranas bei izoliavimo vožtuvus.

Branduolinis kuras

ABWR reaktoriaus aktyviąją zoną sudaro 872 branduolinio kuro rinklės.

Pagrindinis ABWR reaktorių aktyviosios zonos skirtumas nuo standartinių BWR reaktorių aktyviųjų zonų – platesnis tarpas tarp kuro rinklių šilumnešiui pratekėti, kuris turi įtakos:

1) didesniam sustabdyto šalto reaktoriaus ikikritiškumui,
2) vidutiniškam neigiamam garo reaktyvumo efektui, kas užtikrina didesnį reaktoriaus stabilumą pereinamųjų procesų metu,
3) didesnei ribai tarp kanalų ir valdymo organų sąveikos.

ABWR reaktoriaus aktyviosios zonos šiluminė apkrova, dirbant nominalia galia (3926 MWš), sudaro ~50 kW/L, kas atitinka vidutines šiluminės apkrovos reikšmes šiuolaikiniams reaktoriams. **Tokia vidutinė aktyviosios zonos šiluminė apkrova kartu su šiuolaikine kuro rinklių konstrukcija ir plačiu šilumnešio srauto reguliavimo diapazonu garantuoja mažiausią branduolinio kuro poreikį tarp BWR tipo reaktorių. ABWR reaktoriai yra pritaikyti dirbti 12–24 mėnesių kuro ciklu.**

Šiuo metu ABWR reaktoriuose yra naudojamos **GE14** arba **GNF2** tipo branduolinio kuro rinklės.

GE14 ir GNF2 rinklės pasižymi:

- branduolinio kuro šilumą išskiriančių elementų išdėstymo tvarka: 10x10;
- turi du didesnio diametro tuščius centrinius vamzdelius šilumnešio pratekėjimui;
- turi apsauginius šlamo sulaikymo filtrus apatinėje tvirtinimo plokštelėje.

GE14 ir GNF2 tipo branduolinio kuro rinklės buvo suprojektuotos siekiant užtikrinti, kad ABWR reaktoriaus branduolinio kuro rinklės atlaikys prognozuojamas šilumines ir slėgimines apkrovas bei mechaninį poveikį energijos bloko paleidimo metu, normaliai eksploatuojant, laukiamų eksploatavimo įvykių metu, retų įvykių metų ir incidentų atvejais.

Branduolinio kuro ciklas *– tai visas branduolinio kuro ir energijos gamybos procesas, įskaitant moksliniustiriamuosius darbus. Ciklą sudaro 4 fazės:*

1. Kasyba, urano sodrinimas, branduolinio kuro gamyba. *Iškasama urano rūda, uranas sodrinamas ir iš jo gaminamas branduolinis kuras.*

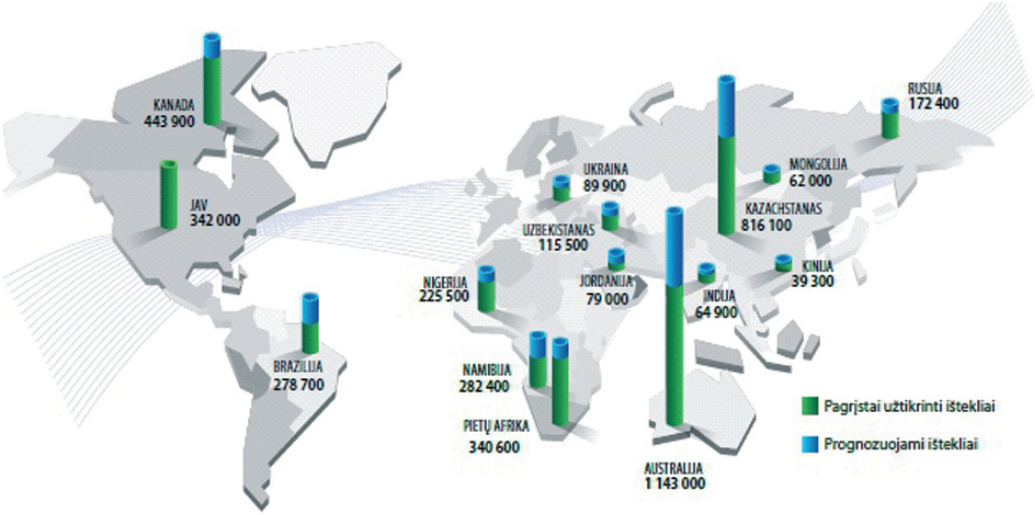
2. Energijos gamyba. *Branduolinis kuras naudojamas atominėje jėgainėje – gaminama energija. Panaudotas kuras laidojamas arba perdirbamas.*

3. Laidojimas. *Jeigu panaudotas kuras neperdirbamas, jis gabenamas į galutinio saugojimo vietą – geologinio laidojimo įrenginį.*

4. Perdirbimas. *Perdirbti skirtas branduolinis kuras gabenamas į perdirbimo gamyklą. Iki 95 % perdirbto kuro vėl naudojama branduoliniame reaktoriuje.*

Branduolinis kuras

Uranas – plačiai paplitęs Žemėje elementas (pvz., labiau nei auksas ir sidabras). Aplinkoje aptinkami du gamtiniai urano izotopai: U-238 (99,3 %) ir U-235 (0,7 %). Vidutinė urano koncentracija: viršutiniame grunto sluoksnyje – 2–3 g/t, granituose – 4–5 g/t. Bendras įvertintas urano rūdos U_3O_8 kiekis pasaulyje – apie 4 mln. tonų.
Dabartinė branduolinio kuro paklausa – beveik 67 tūkst. tonų per metus. Esant maždaug tokiai urano paklausai, jo pasaulinių išteklių užteks 100 metų. Perėjus prie uždaro branduolinio kuro ciklo, branduolinio kuro atsargų užteks keliems tūkstančiams metų.
Apie 96 % urano rūdos atsargų yra Australijoje, Kanadoje, Kazachstane, Pietų Afrikoje, Brazilijoje, JAV, Rusijoje. Branduolinį kurą tiekia 15 valstybių.



5 pav.
Urano paplitimo žemėlapis