

Új típusú fűtőelemek bevezetésének megalapozását szolgáló kísérletek, 2018

A vízhűtéses reaktorok kiégett kazettáinak vizsgálatára alkalmazott nemzetközi módszerek

Slonszki Emese

TSO Szeminárium, OAH, 2019. június 5.

A kiégett kazetták vizsgálata

Nemzetközi módszerek megismerése



Berendezések kiválasztása az új paksi blokkokon
történő alkalmazásra



mit mérjen, végrehajtható műveletek

A kiégett kazetták vizsgálata

Célok:

vízűtéses reaktorok nem szivárgó, kiégett kazettáinak vizsgálatára alkalmazott módszerek, berendezések áttekintése:

- geometriai méretek ellenőrzése és gammaspektrometria,
- meleg kamrás vizsgálatok a *fűtőelem állapotának* jellemzésére:
 - burkolat állapota
 - oxidréteg
 - hidrogéntartalom
 - mechanikai tulajdonságok
 - tabletta állapota
 - szerkezeti változások
 - peremréteg
 - összetétel
 - tablettán belüli kiválások
 - hasadási gázok kibocsátása

Kiegész meghatározása

A kiégett kazetták átmeneti tárolása szempontjából kulcsfontosságú a kazetta geometriai méreteinek megváltozása és a kiegész meghatározása.

A kiegész közvetlen kísérleti módszerrel nem mérhető



mérésekkel kell becsülni



Az üzemanyag hasadóanyag-tartalmának csökkenését és a neutron elnyelő hasadási termékek felhalmozódását figyelembe vevő számításokkal csökkenthető a felesleges konzervativizmus a besugárzott üzemanyaggal kapcsolatos különböző műveletekben, mint:

- szállítás (a szállítókoténer tervezésének optimalizálásával),
- nedves tárolás (nagyobb dúsítású üzemanyag-kazetták tárolhatósága meglévő létesítményekben),
- új tároló berendezések tervezése (sűrűbb konfigurációkkal),
- újrafeldolgozás.

Kiegész meghatározása

Roncsolásos eljárások



kémiai elemzések alapulnak



tömegspektrometriás technikák alkalmazása:

- ✓ nagyon alacsony a detektálási határértéke
- ✓ hosszú felezési idejű radioaktív izotópokra is alkalmazható
- ✓ információt szolgáltat a hasadási termékek és az aktinidák izotóp összetételéről
- ✓ képes ugyanolyan érzékenységgel mérni stabil, valamint radioaktív izotópokat

- ködfény-kisüléses
- szikra-ionforrású
- rezonancia ionizációs
- lézerionizációs
- termikus ionizációs
- induktív csatolású plazma (ICP) tömegspektrometria (MS)

atomiparban jelenleg a legelterjedtebb



Kiégés meghatározása

széles tartományban képes mérni az izotópösszetételt kiváló detektálási határértékekkel:

- többdetektoros ICP-MS (MC-ICP-MS)

elméleti lehetőség a lokális kiégés meghatározására:

- lézer elpárologtatásos ICP-MS módszer (LA-ICP-MS)
- száloptikás, nagy felbontású, induktív csatolású plazma atomemissziós spektroszkópia (FO-HR-ICP-AES)
- másodlagos ion tömegspektrometria

Roncsolásmentes eljárások

aktív neutron emissziós módszer (külső forrást használ)

- interrogáció pulzáló neutronforrással: meghatározható az üzemanyag kis α -aktivitású hasadóanyag mennyisége

passzív neutron emissziós módszerek:

- Gammaspektrometria: meghatározható a kiégett üzemanyag hasadási és aktivációs termék tartalma, amiből kiégés számítható
- Neutronszámlálás: matematikai illesztéssel korigálják az üzemanyag által kibocsátott neutronok teljes számát és a számított kiégést

Kiegész meghatározása

Hazai és nemzetközi példák gammaspektrometriás és neutronszámlálós módszerekre

- Paksi Atomerőmű: nagy felbontású gammaspektrometria
- CEA: PYTHON™, NAJA
- FRAMATOME (AREVA/COGEMA): hordozható PYTHON™, SMOPY rendszer.
- NAÜ: FORK Detektor rendszer
- PNNL Pacific Northwest National Laboratory, USA: ultra nagy sebességű HPGe (High-Purity Germanium) deketálási rendszer fejlesztése
- Japán Japan Power Demonstration Reactor-I: gammaspektrometria
- KAERI Korea Atomic Energy Research Institute, Korea: gamma-sugárzást mérő rendszer HPGe detektorral
- INR Institute for Nuclear Research, Románia: gammaspektrometriás rendszer Ge detektorral

Geometriai méretek ellenőrzése

Az üzemanyag-kazetta geometriai méretei megváltozhatnak a reaktorban eltöltött használati idő során. E változások a további üzemelés, vagy tárolás szempontjából kritikusak lehetnek.

vizuális vizsgálati rendszerek használata, akár az erőmű pihentető medencéjében

nagy felbontású víz alatti kamera, periszkóp, beépített szerelvények



a fűtőelemek állapot változásának mértéke megállapítható:

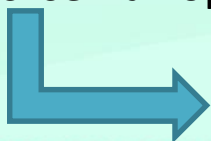
- axiális növekedés
- elhajlás
- elcsavarodás

a meghibásodás mechanizmusa is azonosítható:

- törmelék okozta kopás
- rács és burkolat közti kopás
- gyártási hibák



elhajlással szemben ellenállóbb üzemanyag-kazetta konstrukciók átrakási sémák optimalizálása



PWR, VVER-1000 blokkokban jelentősen csökkent az elhajlások mértéke

Melegkamrás vizsgálatok

Fűtőelem tulajdonságai hogyan változnak?



besugárzott fűtőelemek, anyagok vizsgálata



melegkamra: adott erőműben, de akár más országban/országokban is lehet
alapos előkészületek: pl. kazetta szétszerelése, fűtőelem elvágása, kisméretű minták előállítása

Mivel és mit mérnek, vizsgálnak?



Roncsolásmentes vizsgálatok

vizuális vizsgálat és fényképezés: *felületi állapot*

profilometria: *hossz, átmérő, deformáció, elhajlás, ovalitás, nyúlás*

örvényáramos mérés: *burkolat épsége*

Interferometria: *képződött oxidréteg-vastagság*

gamma pásztázás és tomográfia: *kiégés*



Roncsolásos vizsgálatok

hasadási gáz elemzés: *térfogat és összetétel*

mikroszkópiás technikák: *tabletta és a burkolat szerkezeti változásai*

forró extrakciót és a differenciális pásztázó

kalorimetria: *hidrogén és deutérium tartalom*

szükséges ionsugaras technikák: *burkolat kémiai jellemzőinek meghatározása*

keménységmérés, szakító-, törő- és

fáradásvizsgálatok, kúszás, hidrides törés és

felhasadás vizsgálatok: *mechanikai tulajdonságok*

oxigén/fém arány és a termikus diffuzivitás mérés: *fizikai tulajdonságok*

Melegkamrás vizsgálatok

Vizsgálati módszer	Studsvik	IFE	INL	KAERI IMEF	KAERI PIEF	RIAR
Vizuális szemrevételezés	x	x	x	x	x	x
Profilometria	x		x			
Hossz mérés		x	x	x	x	x
Átmérő mérés		x		x	x	x
Gamma pásztázás	x	x	x	x	x	x
Mikro gamma pásztázás		x			x	x
Örvényáramos mérés	x	x	x	x	x	x
Oxidréteg-vastagág mérés	x			x	x	x
Röntgen radiográfia				x	x	x
Neutron radiográfia		x	x			
Burkolat belső oldalának ellenőrzése	x	x				
Burkolat-tabletta közötti rés vizsgálata					x	x
Törőteszt		x		x	x	x
Hidrogénelemzés		x				x

Studsvik Nuclear AB (**Studsvik**)

Svédország

Institutt for Energiteknikk/Institute for Energy Technology (**IFE**)

Norvégia

Idaho állambeli Idaho National Laboratory (**INL**)

Egyesült Államok

Korea Atomic Energy Research Institute (**KAERI**)

Irradiated Material Examination Facility

Post-Irradiation Examination Facility

Dél-Korea

JSC «SSC RIAR» (**RIAR**)

Oroszország

Melegkamrás vizsgálatok

Vizsgálati módszer	Studsvik	IFE	INL	KAERI IMEF	KAERI PIEF	RIAR
Optikai mikroszkópia	X	X	X	X	X	X
SEM	X	X	X	X	X	X
Képelemzés		X		X		X
EPMA			X	X		
TEM	X		X	X		X
STEM, FEGSTEM	X		X			
Elemanalízis (EDAX/WDAX)			X		X	
Termikus diffuzivitás mérés			X	X		X
Röntgendiffrakció			X			X
Sűrűség mérés		X	X	X	X	X
Kiégés meghatározás	X			X	X	X
Burkolat kémiai összetételének meghatározása				X	X	
Szakítóvizsgálat	X	X	X	X		X
Kúszás vizsgálat	X			X		X
Charpy vizsgálat	X					X
Fáradás vizsgálat	X			X		
Kúszás vizsgálat	X					
Keménységmérés	X			X		X
Mikrokeménység mérés	X				X	X

Melegkamrás vizsgálatok

Melegkamrás vizsgálatokkal



a kiégett fűtőelemek és üzemanyag-kazetták mélyrehatóan jellemezhetők.



Az utóvizsgálatokhoz használt technikákat folyamatosan fejlesztik.



Egy melegkamra létesítése és működtetése rendkívül hasznos új fűtőelemek használata esetén



ellenőrizhető és igazolható azok biztonságos működése.



Köszönöm a figyelmet!



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
ENERGIATUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT