

ÚJ TÍPUSÚ ÜZEMANYAG, AVAGY PAKS I. FEJLŐDÉSE

2019.03.07.

Az Energetikai Szakkollégium Kandó Kálmán emlékfélévének harmadik előadásán az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. munkatársa, Bóna Gábor tartott előadást a paksi atomerőmű üzemanyagának történetéről, fejlesztéséről.

Az előadás egy Thomas Alva Edison idézettel kezdődött: „Amikor azt gondolod, hogy már minden lehetőséget kimerítettél, még mindig van legalább egy.”

Az előadás 6 nagyobb témakörből állt, amelyek az alábbiak voltak:

1. Bevezetés
2. Az üzemanyag története
3. Jelenlegi helyzet
4. Fűtőelem viselkedés
5. Tervezett új üzemanyag
6. Távolsági jövő

BEVEZETÉS

Az első rész egy rövid általános bevezetés volt az erőműről. A paksi atomerőműnek négy darab blokkja van, blokkonként egy-egy VVER-440-es reaktorral. A reaktor elnevezésében a 440-es a villamos teljesítményre utal. A négy blokk időrendben 1982-ben, 1984-ben, 1986-ban és 1987-ben lett beüzemeltetve. Az elmúlt években mind a négy blokknak lejárt a harminc éves üzemeltetési engedélye, emiatt felülvizsgálatra volt szükség, amelyeken mind a négy blokk megkapta a további húsz éves működési engedélyt.

A reaktortartály körül 6 hurok helyezkedik el, amelyekben 123 bar nyomás uralkodik és közel 40000 t/h vízforgalom jellemzi.

A reaktortartályban elhelyezkedő aktív zónában 349 hatszög keresztmetszetű kazetta van. Ebből 312 munka kazetta, valamint 37 szabályozó és biztonságvédelmi kazetta. A 37 szabályozó kazettából 7 darab az, amelyek ténylegesen szabályoznak, a maradék 30-t csak leállításkor alkalmazzák. Egy kazetta 126 pálcából áll. A kazetták profilírozottak, tehát a különböző pálcákat különböző dúsítás jellemezheti. Jelenlegi dúsításuk 4,2% és 4,7%

között van, és egy kazetta három vagy négy kampányon keresztül is a reaktorban van. Paksra a kazettákat az orosz TVEL szállítja.

Az egyesével 2,5 méter hosszú pálcákban elhelyezett üzemanyag pasztillák urán-dioxidból állnak, némelyik tartalmaz gadolínium kiegészítő mérget is, a pálcák burkolata pedig egyfajta cirkónium ötvözet (ZrNb). A pálcák dúsítása 3,6% és 4,95% között van, és a kazettákkal ellentétesen a pálcáknál már nincs profilírozás. A pálcákban elhelyezett üzemanyag pasztillák henger alakú urán-dioxid tabletták, melyeknek közepén furat található. Egy pasztilla 7,6 mm átmérőjű és hozzávetőlegesen 10 mm magasságú.

AZ ÜZEMANYAG TÖRTÉNETE

Az előadás második része a kazetták fejlődéséről szól. 1982-ben az induló kazetták kisebb dúsításúak voltak, ekkor 3,6%-os dúsítású, nem profilírozott kazettákat használtak. Ekkor egy kampány tizenegy hónapos volt és egy kazetta 3 kampányon keresztül volt az aktív zónában. Az évek során történtek kisebb módosítások, ilyen például a kazettafal vékonyítása vagy a cirkónium távtartó rácsok bevezetése.

Az üzemanyag kazetták nagyobb módosítása az ezredforduló környékén történt meg, ekkor vezették be a profilírozott kazettákat, így a kazetták átlagos dúsítása 3,82% volt. A zónatervezésnél érdemes figyelembe venni a kazetták különböző dúsítását, valamint az egyenletesebb teljesítményeloszlás elérése érdekében célszerű a kisebb dúsítású kazettákat a zóna szélén elhelyezni. Ennek a változtatásnak az elsődleges célja az volt, hogy a kazetták akár 4 kampányban is részt vehessenek.

A következő nagy változtatás teljesítmény növelés céljából történt. A rácsosztás növelésével elérték, hogy a kazettákból kilépő víz hőmérséklete egyenletesebb legyen. Ezen változtatás után a villamos teljesítmény 440 MW-ról közel 500 MW-ra nőtt.

A következő módosításra 2010 körül került sor. Ekkor is az üzemanyag dúsításán változtattak, így az átlag dúsítás 4,2%-ra nőtt. A gadolíniumos pálcák bevezetése is ehhez a módosításhoz köthető. Ekkor 3 darab (3,35% Gd-ot tartalmazó) pálcát helyeztek el a kazettákban 120°-os szimmetriával. A gadolínium kiváló neutron befogási tulajdonságával még egyenletesebb teljesítményeloszlást sikerült elérni.

A következő változtatásoknak a tizenöt hónapos kampányokra való átállás adott indokot, ezt szintén az üzemanyag dúsításának növelésével oldották meg. Az átlag dúsítás 4,7%-ra

nőtt, és a maximális dústítás elérte a 4,95%-ot. A gadolíniumos pálcák számát 3-ról megnövelték 6 darabra, ezeket a kazetta sarkaihoz közel helyezték el.

A különböző változtatások során az új kazettákat fokozatosan vezették be. Először csak 6-6 tesztkazettát, és ha sikeresek voltak akkor növelték az új kazetták számát. A változtatásoknak köszönhetően az atomerőmű üzemelésének az egy effektív napra eső kazetták száma csökken. Emellett a megtermelt energiára eső költség is csökkenő tendenciát mutat, ez alól kivételt jelentenek azok az időszakok, amikor új típusú kazetták kerültek bevezetésre. Ekkor hirtelen költségnövekedés következett be, ami után újra csökkenésnek indult az energiára fajlagosított költség.

JELENLÉGI HELYZET

Az előadás harmadik részében az atomerőmű jelenlegi üzemanyagáról és üzemeltetéséről volt szó. Jelenleg egyszerre használnak 4,2%-os és 4,7%-os dústítású kazettákat. Kampányonként 102 friss kazettát helyeznek be a reaktorba és mindig úgy rendezik őket, hogy a 60°-os szimmetria meglegyen. A kiégett kazettákat a pihentető medencébe helyezik és egy bizonyos idejű pihentetés után, ami átlagosan három-négy év, átkerülnek a KKÁT-ba, azaz a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójába. Egy kampányhossz 415-425 napos és a kampányok között 20-30 nap szünet van karbantartásra. Kivétel ez alól minden negyedik kampány utáni időszak, amikor is nagy javítást végeznek és a teljes zónát kipakolják, ez közel 50-60 napot vesz igénybe.

Az üzemeltetésben és az üzemanyag összetételben bekövetkezett változások miatt szükség volt a normál üzemeltetés néhány paraméterének módosítására. Azzal, hogy a kampányhossz megnövekedett tizenöt hónapra, megnőtt a kiégés és az induló bórsav-koncentráció is. A gadolínium mérgezés bevezetésével a sokszorozási tényező alakulása változott meg. A kiégett mérgező használata előtt a sokszorozási tényező a kampány elején volt nagy, bevezetése után ez átcsúszott a kampány közepére.

Az átrakási stratégia és az új zóna kialakítása erős összefüggésben áll a kazetták kiégésével. Általában az első és a harmadik kampányt a zónában töltő kazetták közepén, a második és negyedik kampányos kazetták a zóna szélén helyezkednek el. Ez a reaktortartály szempontjából nem a legmegfelelőbb, mivel a második kampányos kazettáknak még elég nagy a teljesítményük, ami károsíthatja a reaktortartályt.

A reaktortartály és az üzemanyag érdekében korlátozások vannak bevezetve a hőmérsékletre, nyomásra és ezen állapotjelzők változásának sebességére. A reaktort a VERONA-rendszerrel tudják figyelni. Méri a reaktorban a hőmérsékletet, a neutronfluxust, a nyomást és a hűtővízforgalmat is.

FŰTŐELEM VISELKEDÉS

Az előadás következő részében az üzemanyag normál üzemvitel közbeni viselkedéséről volt szó. Ez közvetlenül nem mérhető, viszont a pálcának a megfelelő üzemeléshez meg kell őriznie hermetikusságát, illetve a repedezés mentességét, amelyeknek kialakulásának egyik fő oka a folyamatos méretváltozások miatt kialakuló mechanikai feszültség. A tablettákban is végbemennek különböző fizikai folyamatok, Egyik ilyen jelenség a tabletták összenyomódása, amely a reaktor indításakor lép fel, amelynek következtében azok sűrűsödnek. Ezt követően a sugárzás miatt a pasztilla megduzzad. A tablettákra ható hőtágulás a változás irányától függően lehet pozitív, illetve negatív is. A burkolat viselkedését befolyásolja a külső és belső nyomás, a hőtágulás, a sugárzási növekedés és a kúszás is.

Az üzemanyagpálcának számos kritériumnak kell megfelelnie, ilyen például a szilárdsági kritérium, amely feszültségkorróziós értékeket foglal magába; deformációs kritérium, amelyen belül megkülönböztetünk radiális, valamint axiális méretváltozásra vonatkozó kritériumot. Az előbbi a távtartó rács miatt fontos, ha túlságosan kitágul a pálcá, beleszorulhat a rácsba, ha túlságosan összemegy, akkor pedig kilazulhat a pálcá. A hőfizikai kritériumoknál az üzemanyagpasztilla hőmérsékletére kell figyelni, hogy olvadáspont alatt maradjon, valamint a pálcán belüli nyomás nem haladhatja meg a primer kör nyomását.

Mivel a zónában a pálcák inheretikuságát közvetlenül nem lehet mérni, ezért a víz összetételét vizsgálják, és a szivárgó radioizotópokból következtethetnek a meghibásodott pálcára. Ilyen esetben a hibás pálcát tartalmazó kazettát a pihentető medencében tárolják.

TERVEZETT ÚJ ÜZEMANYAG

A következő blokkban a jelenleg tervezett üzemanyagról volt szó. Az üzemanyag fejlesztésére két fő indok az, hogy a kampányok során kevesebb friss kazettát kelljen használni és kedvezőbb legyen a teljesítményeloszlás. A fejlesztésre több lehetőség is van,

ilyen az urán tömeg növelése, a moderálás javítása, azaz a víz-urán arány változtatása és a szerkezeti anyagok változtatása.

Az új üzemanyagnak, röviden SLIM-nek a következő jellemzői vannak. Geometriája megváltozik, kisebb pálca burkolata lesz, eltűnik a pasztillák közepéről a furat és az úgynevezett „dishing” váltja fel, illetve keverőfülek lesznek a távtartórácsokon. A dúsításon és a profilírozáson nem változtatnak az eddigiekhez képest. Az urán-dioxid szemcseméretén is növelni fognak a jelenlegi $\sim 10\mu\text{m}$ -ról $\sim 25\mu\text{m}$ -re. Az üzemanyag ilyen kialakítása új koncepció, de a hasonló megoldásokra már van példa a világon.

Elemzések során ki kell térni az üzemanyag teljes életútjára. A friss üzemanyagokra a reaktorban, a pihentető medencében és a KKÁT-ban lévő üzemanyagokra is vizsgálatot kell végezni. Ezen felül a szállítóeszközöket is figyelni kell. Az üzemeltetési elemzéseknél ki kell térni az üzemi körülményekre, a tranziens körülményekre és az üzemzavari körülményekre is.

Az új üzemanyag bevezetésének ütemezése:

- 2018 - 2019: elemzések, mérések
- 2019: engedélyek megszerzése
- 2020: 12 + 6 tesztkazetta a hármas blokkban
- 2022: végleges bevezetés

TÁVOLABBI JÖVŐ

Az utolsó részben a jövőbeli célkitűzésekről volt szó az előadáson. Az elsődleges ilyen pont a burkolat fejlesztése. Az oroszok már kifejlesztettek egy olyan pálcaburkolatot, amely nem oxidálódik (SiC). Továbbá a dúsítást szeretnék a megengedett 5%-ra felemelni, valamint szóban van a reprocesszált urán felhasználása is, amit a jelenlegi beszállító, a TVEL is ajánl.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadás végén 3 rövid kérdéssel még egy összefoglalás történt. A Paksi Atomerőműben eddig 14 978 kazetta került betöltésre, ami 1 887 228 pálcával egyenlő. A több mint 30 éves működés alatt csupán 11 inhermetikus kazetta került ki a zónából, ilyenkor nem az egész kazetta hibás csak egy-két pálca. 1982 óta Pakson az erőműben több mint 480 TWh villamos energiát termeltek.



Danka Csongor

Az Energetikai Szakkollégium tagja