

A nukleáris üzemanyag módosításai a paksi blokkok teljesítménynövelése kapcsán

Nemes Imre

Paksi Atomerőmű Zrt. Reaktorfizikai Osztály
7031 Paks, Pf. 71, +36 75 508 563, +3675 505 074

A paksi blokkok teljesítménynövelésének (TN) alapvető kérdése volt, miként tudjuk biztosítani, hogy a reaktorfizikai korlátok lényegében változatlan értéke mellett a reaktor a növelt névleges teljesítményen tudjon üzemelni. A tartalékok feltárásának több eleme is volt. Egyrészt növeltük a primerköri nyomástartást, valamint a VERONA in-core ellenőrző rendszer pontosságát, majd ennek figyelembe vételével, illetve fejlettebb matematika módszerek segítségével csökkentettük a korlátok meghatározási bizonytalanságát figyelembe vevő tartalék faktorokat. Másrészt az üzemanyag módosításával változtattuk bizonyos paraméterek értékét.

Az üzemanyag változtatása a TN kapcsán két lépésben történt. Először olyan módosítások történtek, amelyek a teljesítmény- és hőmérsékletmezőt simították. A pálcák rácsosztásának növelése a belső szubcsatornák térfogatát növelte, ezzel arányosan a felmelegedést csökkentette. A szabályzó és biztonságvédelmi (SZBV) rendszer elemei üzemanyag részének felső szekciójában megvalósított fejlesztés az axiális teljesítményeloszlást simította.

Az üzemanyag-gazdálkodás javítása a blokkok névleges teljesítménye növelésének megvalósítását követően, a második lépcsőben történt. Előre tervezett tesztprogram után olyan, magasabb dúsítású üzemanyagot vezetünk, illetve vezetünk be, amellyel az egységnyi termelt energiára eső üzemanyag-felhasználás a TN előttinél is alacsonyabb értékre kerül.

Bevezetés

A paksi blokkok teljesítménynövelése során alapvető kiindulópont volt, hogy a módosított biztonsági elemzések nem mutathatnak a korábbinál kedvezőtlenebb képet. Ezt elérendő az alapvető reaktorfizikai korlátok változatlanul maradtak. Megoldandó volt azonban, hogy az utóbbiak változatlan értéke mellett hogyan lehet a 108 %-ra megnövelt, 1485 MW hőteljesítményen a reaktort jó kihasználtsággal üzemeltetni.

A reaktorfizikai korlátok

A blokkon alkalmazott, a teljesítmény által jelentősen befolyásolt korlátozó paramétereink a következők:

- a forrásponthi hőmérsékletben van maximálva az üzemanyag-pálcák közti szubcsatornák kilépő hőmérséklete (T_{sub});
- ugyancsak nem lehet egy meghatározott értéknél nagyobb a pálcatelesítmény (P_{pin}), valamint a pálcaszakasz teljesítményének (N_{lin}) értéke sem;
- előírás van a maximális kazetta teljesítményre (P_{kaz}), ezt a korlátot azonban a többi mindenkor felülírja, így külön nem kellett foglalkozni vele.

Valamennyi korlát esetében igaz, hogy az elvi maximumot a meghatározási pontosság értékével csökkentjük, és az így kapott érték szerepel a VERONA rendszerben elérhető maximumként:

$$Korlát_{VERONA} = Korlát_{elvi} - K_{mémőki\ tartalék}$$

A fenti megállapítások az elvi korlát értékeire vonatkoznak, mód nyílt tehát a meghatározási pontosságok javításával a gyakorlati, a VERONA rendszerben érvényes korlátok növelése révén (is) tartalékot felszabadítani.

Tartalékok a szubcsatorna kilépő hőmérséklet értékében

A felsorolt korlátozó paraméterek közül a szubcsatorna kilépő hőmérsékletének tartása látszott leginkább nehezen kezelhetőnek. A paksi blokkokon a hasonló erőművekkel összehasonlítva alacsony a hűtőközeg forgalom, ezért azonos teljesítmény mellett magas a hűtőközeg felmelegedése.

Az előzetes elemzések azt mutatták, hogy a névleges teljesítmény 8 %-os növelése a szubcsatorna felmelegedés 4°C -os növelésével jár, további 1°C a belépő hőmérséklet növekedése, a kilépő hőmérsékleti korlát tartásához tehát összesen 5°C tartalékot kellett valahonnan felszabadítani. Ez a következőképpen sikerült:

- A 2. blokk esetében a fő keringtető szivattyúk (FKSZ) járókerekeinek cseréjével a primerköri hűtőközeg forgalom növelésére volt szükség.
- A primerköri nyomásszabályozás pontosításával egy időben a VERONA rendszerben bevezettük a forrásponthi nyomásfüggését. Ezzel átlagosan 1°C tartalékot szabadítottunk fel.
- A VERONA rendszer fizikai modelljének korszerűsítésével csökkentettük a meghatározási bizonytalanságot. (A VERONA által szolgáltatott adatok

részben méréseken, részben számításokon alapulnak. Ez utóbbi pontosságának növeléséről van szó.) Ezzel 1,5°C tartalék szabadult fel.

- További 1,5°C felszabadítására az üzemanyag módosításával nyílt lehetőség.

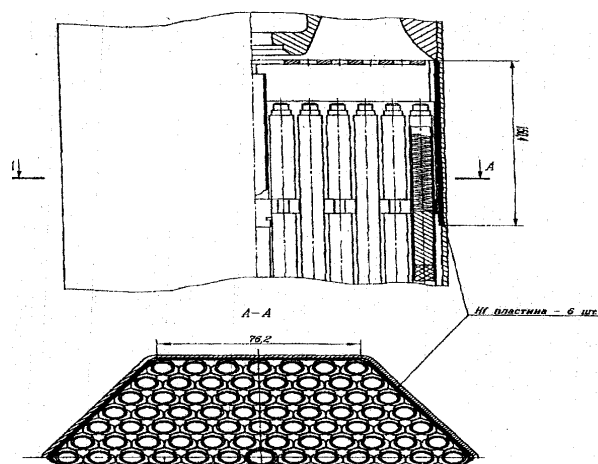
A maradék 1,5°C kezelésére ügyesebb, furfangosabb töltelrendezések révén került sor.

Az üzemanyag módosítások első lépése

A teljesítménynövelés támogatására első lépésben alkalmazott kisebb üzemanyag-módosítások az alábbiak voltak:

- A munkakazetták pálcá-rácsosztása 12,2-ről 12,3 mm-re nőtt. A módosítás hatására a belső szubcsatornák térfogata és forgalma 3 %-kal nőtt, ami a szubcsatorna kilépő hőmérsékletének (T_{sub}) értékében 1,5°C tartalék felszabadulásával járt.
- A follower kazetta (SZBV kazetta üzemanyag-része) kiegészült a pálcák felső végének tartományában felhegesztett hafnium lemezzel (1. ábra). A módosítás az axiális eloszlás simítását (N_{lin} csökkentése) eredményezte a 6. SZBV csoport melletti üzemanyag-pálcákban (2. ábra).
- A follower kazetták esetében is bevezetésre kerül a 3,82% dúsítás alkalmazása a munkakazettával azonos profilírozás mellett, amely a maximális pálcatelesítmény (P_{pin}) értékét csökkentette.

A 3. fejezetben ismertetett lépésekkel, valamint az üzemanyag kisebb módosításaival a szükséges tartalékok felszabadítását sikeresen megoldottuk. A módosított üzemanyag bevezetésére a 4. blokkon 2005-ben, az 1. blokkon 2006-ban, a 2. és 3. blokkon 2007-ben került sor. Az intézkedések biztosították a TN megvalósítását a reaktor oldaláról, a növelt teljesítmény elérését a reaktorfizikai jellemzők nem korlátozták.

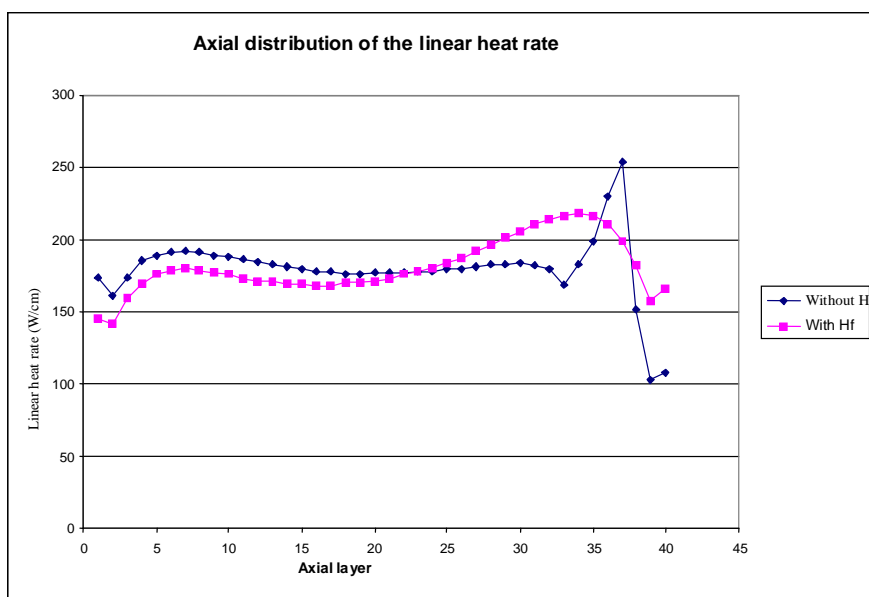


1. ábra: Hafnium lemez az axiális eloszlás simítására az SZBV follower felső szekciójában

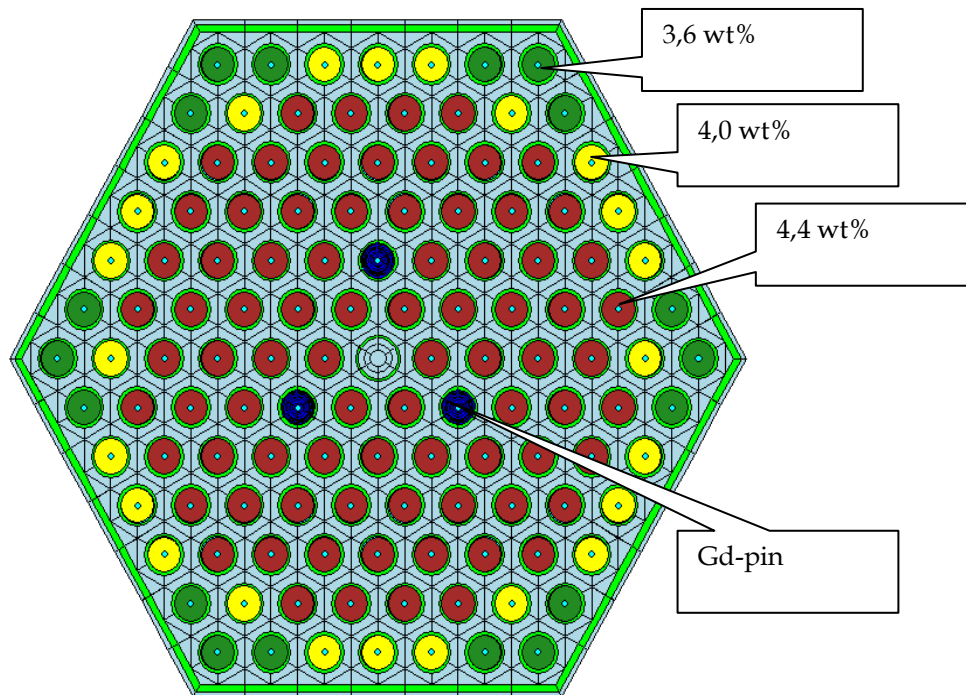
Az üzemanyag módosításának második lépése

Mivel azonban a TN megvalósítása során az alkalmazott üzemanyag átlagos dúsítása csak elhanyagolható mértékben változott, az üzemanyag-ciklus tekintetében a blokkok kikerültek a korábbi kedvező „munkapontból”, az egységnyi termelt energia üzemanyag-költsége nőtt. Korábban átlagosan évi 90, míg a növelt teljesítményen évi 102 friss üzemanyag-kazettára volt szükség blokkonként, így a 8 %-kal nagyobb teljesítményt az üzemanyag költségek 12 %-os növekedésével tudtuk megvalósítani. Mindezekkel természetesen korábban is tisztában voltunk, de a blokkok teljesítményének növelése prioritást élvezett.

A TN megvalósítása után megkezdtük az üzemanyag-módosítás korábban is tervezett második lépését. Ennek keretében ún. 2. generációs üzemanyag bevezetésére került sor. A módosítás az üzemanyag geometriáját is érintette: a láb- és a fejrész átalakításával a munkakazettában 6 cm-rel, a SZBV followerben 4 cm-rel hosszabb lett az üzemanyag oszlop, az uránsúly is 6, illetve 4 kg-mal több.



2. ábra: A teljesítmény axiális eloszlása a szabályozó kazettával szomszédos pálcában Hf lemez alkalmazásával és anélkül



3. ábra: 4,2 % átlagos dúsítású, kiégő mérget tartalmazó üzemanyag kazetta pálcánkénti dúsításai

A Pakson alkalmazott üzemanyag átlagdúsítását 4,2 %-ban állapítottuk meg. Az orosz szállító elfogadta a pálcánkénti dúsítás és kiégő mérget eloszlásra vonatkozó igényünket, így a kazettákba 3-3 kiégő mérget tartalmazó pálca került, 3,35 % gadolínium-oxid koncentrációval (3. ábra). A follower dúsítása és a kiégő mérget eloszlása azonos a munkakazettáéval.

Ebből az üzemanyagból 84 darab szükséges évenként és blokkonként. Ez a friss üzemanyag költsége kb. 5 %-os, az évenként kirakott és tárolandó kazetták darabszámának 18 %-os csökkenését jelenti. A kirakott üzemanyag kiégése kb. 10 %-kal nő, a kazetták többnyire négy, kisebb részük öt évet tölt a reaktorban.

A fentiekben jellemzett és Gd-2n jelűre keresztelt típusú üzemanyag kazetták alkalmazása megkezdődött 2009-ben 12 db kazetta teszttel, majd 2010-től a fokozatos bevezetéssel. A 4. blokkon az első teljes betöltésű zóna sikerrel üzemel, a jelenlegi tervek szerint 2011-ben az 1. blokk, 2012-ben a 3. blokk, 2013-ban a 2. blokk kerül átállításra a Gd-2n üzemanyag-töltetre.

Összefoglalás

A TN megvalósításához a reaktorfizikai korlátok tekintetében a tartalékok feltárására volt szükség. Ez sikeresen megtörtént a primerköri nyomástartás, valamint az in-core ellenőrző rendszer pontosságának javításával, a korlátok meghatározási bizonytalanságát figyelembe vevő tartalék faktorok csökkentésével. Fontos elem volt az üzemanyag módosítása is.

Az üzemanyag első módosítása kisebb változtatásokat tartalmazott, amelyek a teljesítmény- illetve a hőmérsékletmezőt simították. Ezek segítségével a magasabb teljesítményre való átállást sikeresen megvalósítottuk.

Az üzemanyag-gazdálkodás javítása a blokkok névleges teljesítménye növelésének megvalósítása után, a második lépcsőben történt. Magasabb dúsítású üzemanyag bevezetésével az egységnyi termelt energiára eső üzemanyag felhasználás a TN előttinél is alacsonyabb értékre került.

Irodalomjegyzék

- [1] Paksi Atomerőmű Részvénytársaság, 1-4. blokk. Műszaki Üzemeltetési Szabályzat: A biztonságos üzemeltetés határértékei és korlátozó feltételei (5.2. sz. változat)
- [2] OKB Hidropressz: Fűtőelem kazetták üzemeltetésének megalapozása a Paksi Atomerőművi blokkok megnövelt teljesítménye mellett. A kazetták konstrukciós, geometriai paramétereinek és az anyagok tulajdonságainak leírása. U213-Pr-1748
- [3] FFGUP OKB Hidropressz: Munkák teljesítése üzemanyag modernizálásához és üzemanyag ciklusok tökéletesítéséhez a Paksi Atomerőmű 4. blokkja aktív zónája hőteljesítményének 108 %-ra történő megnövelése mellett. Modernizált üzemanyag kazetták szerkezeti geometriai paramétereinek és anyagjellemzőinek leírása. U213-Pr-1832
- [4] Nemes Imre: Gazdaságosabb üzemanyag és üzemanyag ciklus a paksi reaktorok növelt teljesítményén, Nukleon, 1. évfolyam 2. szám, 2008. július