

A töltettervező- és ellenőrző rendszer tesztelése gadoliniumot tartalmazó kazetták esetén

Dr. Pós István, Parkó Tamás

Paksi Atomerőmű Zrt. 7031 Paks, Pf. 71., tel.: (75)508130, fax: (75) 505074, e-mail: pos@npp.hu

A Paksi Atomerőmű Zrt. blokkjain megvalósított teljesítménynövelés miatt átmenetileg megnőtt friss üzemanyag igény csökkentése, a gazdaságosság javítása új típusú üzemanyag bevezetésével biztosítható. Az új konstrukciójú üzemanyag a korábbtól uránsúly, dúsítás és geometriai szempontból is különbözik, valamint bizonyos pálcákban kiégő mérég található. A jelenleg is üzemelő fűtőelemektől reaktorfizikai szempontból jelentősen eltérő üzemanyag bevezetéséhez a töltettervező és -ellenőrző apparátust is megfelelően fel kell készíteni. Ez azt jelenti, hogy az új üzemanyag típus megváltozott tulajdonságait a neutronfizikai és termohidraulikai modellek, számítások esetén is figyelembe kell venni, ennek érdekében viszont a számítási módszereket módosítani, fejleszteni, és természetesen ellenőrizni szükséges. Munkánk ennek az ellenőrzési folyamatnak az egyik lépését mutatja be, a HELIOS kóddal meghatározott kétcsoportos hatáskeresztmetszet könyvtárak felhasználásával, a C-PORCA programmal számított paramétereket hasonlítjuk össze a Mohi Atomerőmű 1. blokkján üzemelt töltetek mért jellemzőivel.

Bevezetés

A Paksi Atomerőmű kiemelt feladatai között szerepel az üzemidő meghosszabbítás előkészítése és a hatékonyság növelése. Ez utóbbi kívánalom teljesítésének egyik kézenfekvő módja a blokkok teljesítményének növelése. A teljesítménynövelés gazdaságosabbá tételéhez újabb, korszerűbb üzemanyag kazetta típus bevezetésére van szükség. A legújabb típusú, kiégő mérget tartalmazó üzemanyag kazetták a korábban alkalmazott típusoktól azonban több szempontból is különböznek. Az eltérő geometriai méretek mellett az átlagdúsítás és a dúsítás szerinti profilírozás is különböző, valamint bizonyos pálcákban kiégő mérég (gadolinium) található.

Az új típusú üzemanyag bevezetéséhez a töltettervező és -ellenőrző apparátust is megfelelően fel kell készíteni. Ez azt jelenti, hogy az új üzemanyag típus megváltozott tulajdonságait a neutronfizikai és termohidraulikai modellek, számítások esetén is figyelembe kell venni. Ennek érdekében viszont a számítási módszereket módosítani, fejleszteni, és természetesen ellenőrizni szükséges. Igazolni kell, hogy a programok statisztikus és szisztematikus hibái a követelményeknek továbbra is megfelelnek, azaz a töltettervező és a zónaellenőrző rendszer a kiégő mérget tartalmazó, új típusú üzemanyag esetén is alkalmas feladata ellátására. Ez különösen fontos, hiszen a nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a kiégő mérget is tartalmazó kazetták reaktorfizikai kezelése korántsem zökkenőmentes [1] [2]. A felvetődő kérdések közül itt most csak egyet említünk meg, a felmerülő nehézségek

bonyolultságának érzékeltetése kedvéért. A más erőművekben már bevezetett, kiégő mérget tartalmazó Gd-2-es kazetta típus esetén – mint az 1. ábrán megfigyelhető – a kazetta végtelen sokszorozási tényezője (kinf) és a kazettán belüli teljesítményeloszlás (ppf) úgy változik a kiégés (illetve a kiégő mérég fogyása) során, hogy a maximális pálcatelesítmény nem feltétlenül a kampány elején jelentkezik. Ez azt jelenti, hogy a különböző paraméterekre vonatkozó korlátok teljesülését már nem elegendő pusztán a kampány elejére igazolni, hiszen a legkisebb tartalékot eredményező állapot valamikor a kampány közben áll fenn. Ez érthető módon már a töltettervezés folyamatát is jelentősen megnehezíti.

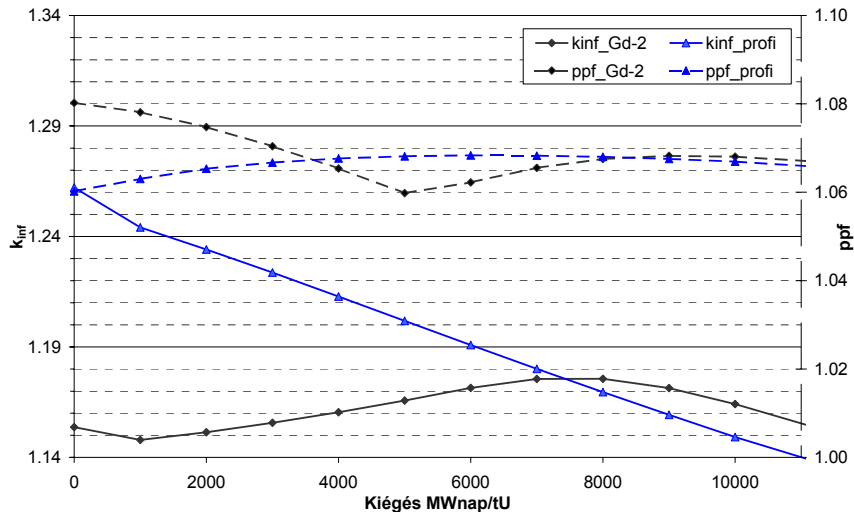
A bonyolultabb reaktorfizikai kezelés mellett azonban az új konstrukciójú, kiégő mérget tartalmazó és nagyobb átlagos dúsítású kazetták természetesen számos olyan előnnyel is bírnak, ami a bevezetésüket indokoltá teszi. Például a nagyobb dúsítású üzemanyag bevezetésével a teljesítménynövelést követően megemelkedő friss üzemanyag igényt ismét csökkenteni lehet, így az új típus felhasználása jelentős gazdasági haszonnal jár. A nagyobb dúsítás miatti reaktivitás-többletet a friss üzemanyagban a kiégő mérég leköti, így a kampány eleji (maximális) bórsavkoncentrációt nem szükséges növelni. A kiégő mérég alkalmazásának további előnye, hogy a meglévő, üzemanyag tárolására és szállítására használt és az üzemanyag kellő mértékű szubkritikusságát biztosító eszközök továbbra is használhatók. Az említett példák közül látható, hogy a jövőben a gazdaságos üzemeléshez a nagyobb dúsításra, illetve az emiatt szükséges kiégő

mérgekre, tehát az új típusú üzemanyag alkalmazására szükség lesz, erre tehát a számításokat végző eszközparkot is fel kell készíteni.

Az alkalmazott programrendszer és számítási módszer ellenőrzését a most bemutatásra kerülő eljárás során mért értékekkel való összevetéssel végeztük. Mivel a vizsgálat célja éppen a Paksi Atomerőműben a jövőben alkalmazandó üzemanyag reaktorfizikai kezelésének ellenőrzése, saját mérési adatok jelenleg természetesen nem állnak

rendelkezésre. A programok teszteléshez tehát a Reaktorfizikai Osztály megkapta a Mohi Atomerőműben már üzemelő, kiégő mérget is tartalmazó kazetták üzemviteli adatait, illetve a számítások elvégzéséhez szükséges egyéb információkat [3].

A következőkben tehát röviden bemutatjuk a Mohi Atomerőmű adatainak feldolgozásához szükséges lépéseket, valamint az eddig elvégzett vizsgálatok eredményeit is.



1. ábra: A végtelen sokszorozási tényező és a maximális relatív pálcateljesítmény változása a kiégés során

A számítási módszer

Annak érdekében, hogy egy töltet mért és számított paramétereinek összevetése konzisztens adatpárookra történjen, először a rendelkezésre álló kampánytörténeti adatoknak (teljesítménymenet, rúdhelyzet, belépő hőmérséklet) megfelelően egy átlagoló-konvertáló programmal elkészítettük a szükséges inputok kampánykövetést, valamint állapotokat leíró részét. Az eredményül kapott szövegfájlokat a C-PORCA input fájlba másolva így egy gyors és a változtatásokat könnyen kezelő¹ eljárást kaptunk. A kiégés lépések számának csökkentése érdekében, ahol a paraméterek változása csekély volt, hosszabb időintervallumra átlagolt értékeket határoztunk meg (2. ábra).

Ezzel a módszerrel a tényleges üzemmenettől függően kampányonként 60-110 kiégés lépés számítására volt szükség. Azokban az állapotokban, ahol a mérési adatok rendelkezésre álltak („mért állapotok”) a kampánykövetési számítások során a kiégés állapotot (az aktuális izotóp összetételt) elmentettük. A második lépésként a tárolt kiégés állapotokból kiindulva, az állapotnak megfelelő

„mért” paraméterekkel (teljesítmény, rúdhelyzet, hőmérséklet) meghatároztuk a kazettánkénti relatív teljesítmény eloszlást is. A kapcsolt számítási lépésekre azért volt szükség, mert a mért értékek az adott blokki állapotról készült „pillanatfelvétel” eredményei. Így könnyen előfordulhat az, hogy az első lépésben meghatározott átlagos paraméterek eltérnek a mért értékektől, mert az adott időintervallumot a kiégés követése szempontjából ugyan jól leírják, de a „mérés” időpillanatában a blokk éppen más paraméterekkel rendelkezett. Ez főként akkor fordulhat elő, ha a blokk állapota (teljesítménye, illetve a szabályzó csoport helyzete, stb.) gyakran és jelentősen változik. Az általunk vizsgált kampányokra ez többnyire fennállt, tehát ahhoz, hogy az eloszlásokat is összehasonlíthassuk szükség volt az említett mért paraméterek pillanatnyi értékének figyelembe vételére a számításokban.

Itt meg kell jegyezni, hogy a nagyobb teljesítményváltozások után felvett mért adatok az értékeléshez önmagukban nem elegendőek, mert a tranziens folyamatok (pl. Xe-mérgezettség) állapotáról nem tartalmaznak információt. Mivel az állapot számítások során nem követjük a Xe-koncentráció változását, végül is ilyenkor egy ismeretlen tranziens állapotot vetünk össze egy feltételezett egyensúlyi állapot számított értékeivel. Az ilyen, teljesítmény, hőmérséklet és rúdhelyzet szerint egyező, de ennek ellenére nem azonos mért-

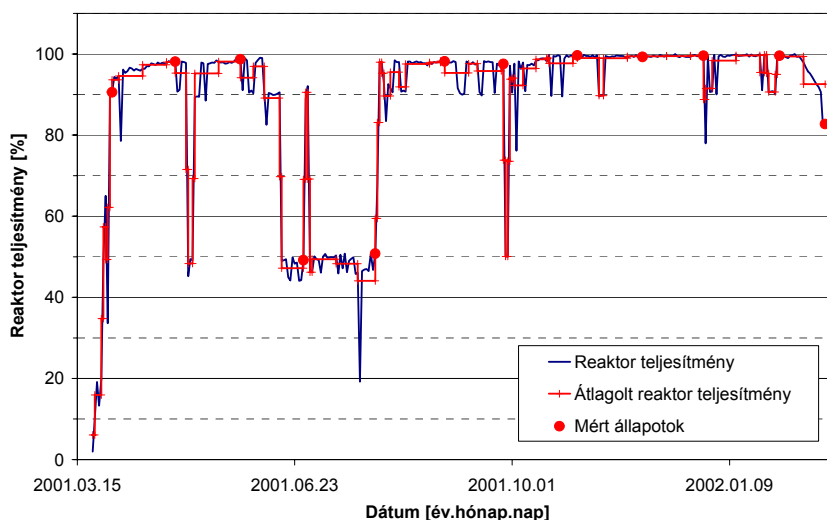
¹ A munkánk kezdetén több probléma is adódott, a tévesen megadott átrakások hibáinak javítása, az átlagolási módszer tesztelése mindig az inputok újragenerálásával és a számítások megismétlésével járt.

számított állapotokra a vizsgált értékek különbségének ugrásszerűen megnövekedett szórása hívja fel a figyelmet. Minthogy az ilyen összehasonlítás indokolatlanul növeli a mérés-számítás különbségét, ezeket az állapotokat célszerű kihagyni az eloszlások összehasonlításából.

Az első két kampányról a kampányhossz kivételével nem állt rendelkezésre információ, így ezekben az esetekben feltételezett kampánymenettel számoltunk. A mért és számított értékek összehasonlítására is a 3. kampánytól kezdve kerülhetett sor.

A korábbi üzemanyag kazetta típusok és a gadólińiumot tartalmazó újabb típus közötti egyik – a reaktorfizikai

számítások szempontjából – legfontosabb különbség, hogy az újabb kazettákban 6 cm-rel hosszabb az üzemanyag rész. Ahhoz, hogy a korábbi típusú kazettákból álló „rövidebb” töltetek esetén meghatározott izotóp összetétel a hosszabb üzemanyagot is tartalmazó „vegyes” töltet számításaiban közvetlenül felhasználható legyen, a korábbi (1-7.) kampányokat 41, míg 8. kampányt, ahol már az új típusú, kiegészítő mérget tartalmazó üzemanyag is megjelenik, 42 axiális szintre bontással számoltuk. Ebben az esetben a rövidebb és hosszabb üzemanyagok nóduszai egyforma hosszúságúak, csak vegyes töltet esetén a rövidebb, régebbi típusú üzemanyag kazetta első nóduszában nincs hasadóanyag.



2. ábra: A valós és az átlagolt teljesítménymenet, mért állapotok (Mohi 1. blokk, 3. kampány)

A számítási eszközök

A számításokhoz, HELIOS kód 1.8-as és 1.9 verziójával készített kétszoportos, parametrizált hatáskeresztmetszetekeket használtunk. A kampánykövetési és az állapot számításokat a C-PORCA program 651-es, új nodális kétszoport diffúziós modellt használó verziójával végeztük.

A mért adatok feldolgozása

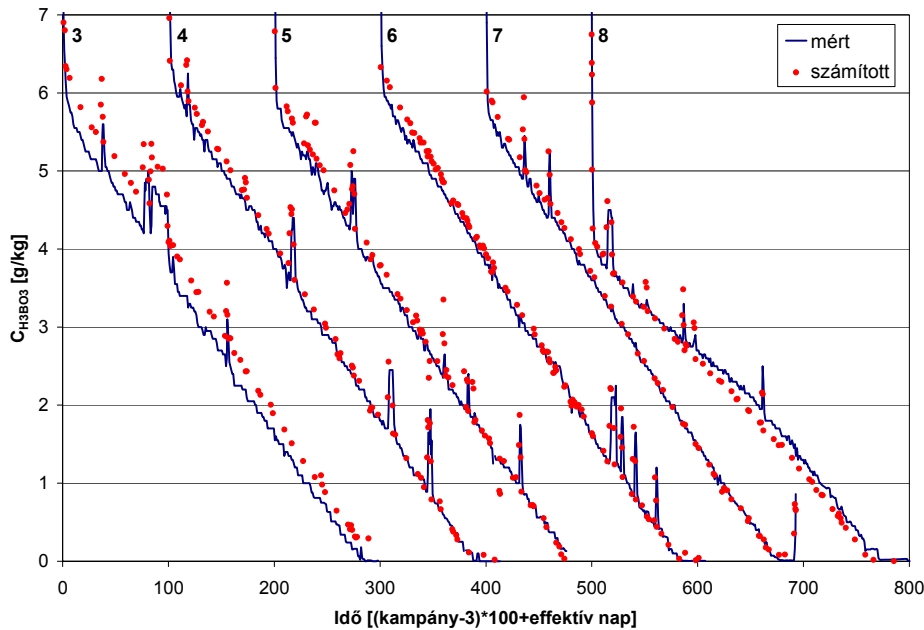
A számított kazettánkénti relatív teljesítményeloszlás (kq-mező) ellenőrzéséhez a mért hőmérsékleteket is fel kellett dolgozni. A belépő- és a mind a 349 kazettára megadott kilépő- vagy felmelegedés hőmérséklet értékek szintén Excel munkafüzetekben, táblázatos formában voltak adottak [3]. Ezeket először szövegfájlokká konvertáltuk, majd hogy a már meglévő kiértékelő programrendszerben fel tudjuk használni, egy erre a célra készített rutinnal a töltetlenőrző rendszerben megszokott „harács” formátumúvá alakítottuk. A harács fájlok készítéséhez azonban már csak a belépő és a mért kilépő hőmérsékleteket

használtuk fel, a kq értékek összehasonlításánál is csak ezek szerepelnek. Azáltal hogy csak a „nyers” mért értékeket használtuk fel, ugyan kevesebb mérés-számítás adatpár áll rendelkezésre, de elkerülhető hogy a szlovák zónaellenőrző rendszerben alkalmazott kiterjesztés számunkra esetleg ismeretlen tulajdonságai befolyásolják eredményeinket.

Az eredmények értékelése

A kritikus bórsavkoncentráció

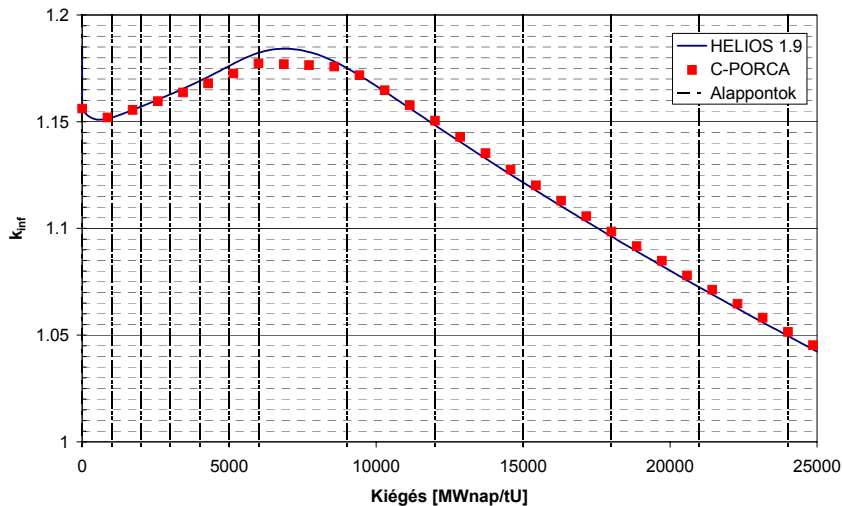
A számított és mért bórsavkoncentrációk jó egyezést mutatnak. A 3. kampányban tapasztalható nagyobb (hozzávetőleg 8 % körüli) eltérés valószínűleg az előző két kampány becsült paraméterekkel végrehajtott követésének hatása. Megfigyelhető, hogy a kampányok során a számított bórsavkoncentráció csökkenése enyhén meredekebb, mint a mért értéké, valamint az, hogy a 8. kampányban kissé megnő a mért és számított bórsavkoncentráció értékek eltérése (3. ábra).



3. ábra: A mért és a számított bórsav koncentrációk (Mohi 1. blokk, 3-8. kampány)

A kismértékben megnövekedett eltérések oka abban keresendő, hogy a transzport kóddal a paramétertérben alappontként meghatározott hatáskeresztmetszetek a gadolínium kiégése miatt fontos tartományban nem elég sűrűn adóttak. Emiatt a kevéscsoport hatáskeresztmetszetek kiégés szerint interpolált értékei ebben a tartományban nem kellően pontosak. A fentiek igazolására meghatároztuk a gadolíniumos kazetta sokszorozási tényezőjét a HELIOS-1.9 és a C-PORCA programmal is, homogén rács és reflektív határfeltételek esetén. A 4. ábrán látható függőleges

szaggatott vonalak azon kiégéseket jelölik, ahol a 3. pontban megadott hatáskeresztmetszet könyvtár interpolációs alappontjai adóttak. Látható, hogy a maximális sokszorozási tényező környezetében (7000 MWnap/tU kiégésnél) nincs érték, ez pedig éppen az a tartomány, ahová a 8. kampány közepén – a mért és számított bórsavkoncentráció közötti eltérés megnövekedésekor – a gadolíniumos kazetták kiégése esik. A felmerült eltérések miatt tehát a hatáskeresztmetszet könyvtár revíziója mindenképpen szükséges.

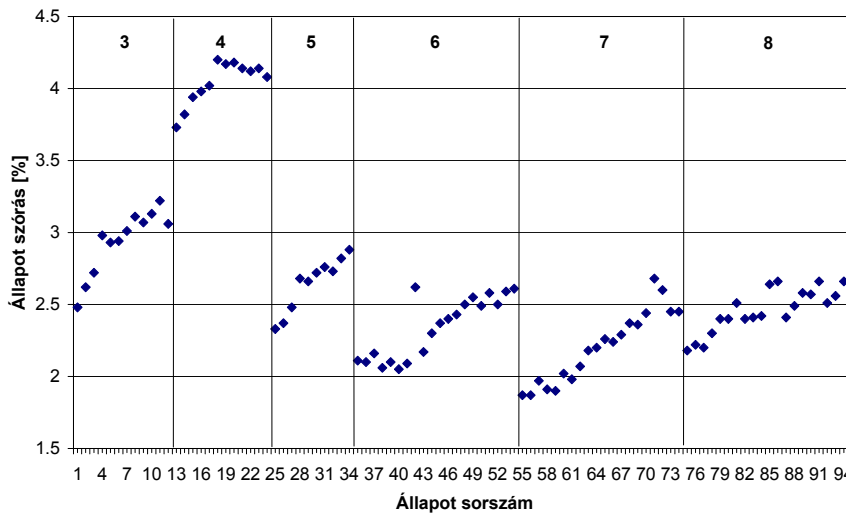


4. ábra: A Gd-2-es típusú kazetta végtelen sokszorozási tényezője a kiégés függvényében

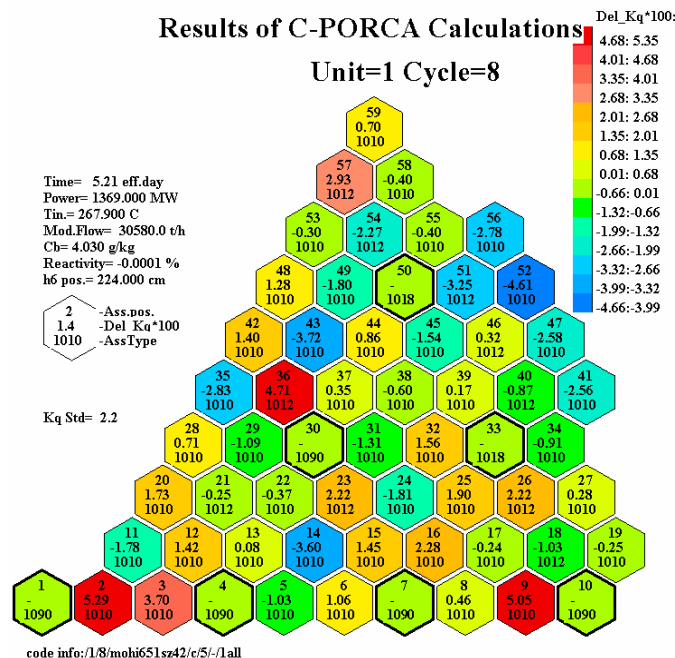
A relatív kazettateljesítmények

A mért és számított k_q értékek relatív eltéréseinek állapotonkénti szórása a 3-4. kampány emelkedő trendje után (ezt szintén az első két kampány becslült paraméterekkel való követése okozhatta) 2,5 % körül stabilizálódott (5. ábra). Az 5-7. kampányokra átlagolt k_q eltérések szórása minden kazetta típust figyelembe véve 2,36 %, míg a 8. kampányban a vizsgált állapotokra átlagolt

értékek a következők: a korábbi kampányokban is szereplő profilírozott típusra 2,26 %, a gadolíniumos kazetták esetén 2,77 %. A kazettánkénti mért-számított k_q eltérések is döntően 5 % alattiak (6. ábra), a 8. kampányban az átlagos eltérés mindkét típus esetén kisebb, mint 0,001. A kazettaszintű teljesítmény meghatározásának pontossága tehát az új kazettatípus esetén nem romlott jelentősen, szisztematikus eltérés nem látható.



5. ábra: A mért és a számított k_q értékek relatív eltéréseinek állapotonkénti szórása (3-8. kampány)



6. ábra: A számított és a mért relatív kazettateljesítmények eltérése a 8. kampány elején²

² A vizsgálatokban szereplő kazettatípusok jelölése az ábrán:

1010 - 3.82 % átlagdúsítású, 1,22 cm rácsosztású, profilírozott munkakazetta

1012 - 4,25 % átlagdúsítású, 1,23 cm rácsosztású, profilírozott, kiéggő mérget tartalmazó munkakazetta

Összefoglalás

A Paksi Atomerőműben a teljesítménynövelés gazdaságosságának javítása érdekében magasabb átlagdúsítású és kiegészítő mérget tartalmazó üzemanyag alkalmazása szükséges. Az új típusú kazetták bevezetése azonban a reaktorfizikai számításokat végző programrendszer fejlesztését és széleskörű vizsgálatát igényli.

Az általunk kidolgozott eljárással, a Mohi Atomerőmű üzemviteli adatait felhasználva, a paksi töltettervező- és ellenőrző rendszert már előzetesen is tesztelni lehet kiegészítő mérget tartalmazó kazetták esetén. Megállapítottuk, hogy az általunk használt programrendszer a hatáskeresztmetszet könyvtár kisebb módosításával alkalmas a gadolíniumos kazettákat is tartalmazó töltetek kezelésére.

Irodalomjegyzék

- [1] P. Urban: *Preliminary comparison of theoretical and real data of cycles with Gd-II FA, Proceedings of the 16th Symposium of AER, Bratislava, 25-29 September, 2006*
- [2] J. Baigl: *Gd-2 fuel benchmark (version 1), Proceedings of the 16th Symposium of AER, Bratislava, 25-29 September, 2006*
- [3] J. Simko: *a Mohi Atomerőmű kampányainak adatai, 2007. március, Személyes közlés*