

Az elmélet működése a gyakorlatban – reaktordiagnosztikai mérések a Paksi Atomerőműben

Végh János¹, Kiss Sándor¹, Lipcsei Sándor¹, Czibók Tamás¹, Kiss Gábor²

¹Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet,
H-1121, Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29-33.

²Paksi Atomerőmű Zrt., 7031 Paks, Pf. 71.

Cikkünkben az 1980-as évek elejétől áttekintjük a paksi atomerőműben működő reaktorzaj-diagnosztikai rendszerek történetét, majd ismertetjük a ma használt adatgyűjtő- és kiértékelő konfigurációt. A diagnosztikai mérések gyakorlati felhasználását az aktív zóna hűtőközeg-sebességének meghatározásával illusztráljuk, mivel elsősorban ez az a módszer, amely a Kosály György által is kutatott terjedő perturbációk elméletén alapul.

Bevezetés

Az Atomenergia Kutatóintézet (AEKI) az 1980-as évek elejétől folyamatosan végez olyan fejlesztéseket a paksi atomerőmű (PAE) részére, amelyek célja adatgyűjtő és zajdiagnosztikai rendszerek létrehozása, telepítése és folyamatos működtetése. Ezen erőművi alkalmazásokat részben az 1970-es évek közepétől folyó elméleti kutatások alapozták meg. A hazai elméleti munkák közül kiemelkedő jelentőségű volt Kosály György néhány nemzetközi visszhangot keltő tanulmánya (lásd pl. a reaktorban terjedő perturbációkkal foglalkozó [1] és [2] publikációkat.). A zajdiagnosztika erőművi bevezetése szempontjából hasonlóan fontos volt a mérési metodika kipróbálása valóságos körülmények között, továbbá az interpretációs eljárások működésének tesztelése nagyszámú mért adatsorral. Ezt jól szolgálta az 1970-es évek végén a rheinsbergi atomerőműben (volt NDK) egy zajdiagnosztikai műszerekkel „gazdagon” felszerelt tesztkazettán nemzetközi együttműködésben folytatott mérés-sorozat. A megfelelő felkészülés nagymértékben hozzájárult ahhoz, hogy a hazai atomerőműben már az első blokk indulása körül megkezdődhetett a zajdiagnosztikai rendszer telepítése és alkalmazása. Természetesen az 1. blokk indítása (1982. december) után a munka újabb lendületet kapott, hiszen egy valódi erőművi reaktor valódi problémáival kellett foglalkozni (részletesen lásd pl. a [3] és [4] cikkeket).

Az elmúlt közel 30 évben intézetünk a reaktordiagnosztikai rendszerek több generációját fejlesztette ki, és a vonatkozó kutatási-fejlesztési területen számottevő tapasztalat gyűlt

össze. A know-how állandó fejlesztése mellett módunk volt megfigyelni azt a folyamatos – néha nagyon gyors – fejlődést, ami a felhasználható hardver és szoftver eszközök területén bekövetkezett. Az alábbiakban először az AEFI által fejlesztett paksi zajdiagnosztikai rendszerek „történeti” fejlődését vázoljuk a fejlesztés mérföldköveinek felsorolásával. Ezután röviden bemutatjuk a ma használt PAZAR adatgyűjtő- és kiértékelő rendszert, majd a diagnosztikai mérésekből nyerhető információ felhasználását illusztráljuk néhány példával. A diagnosztikai mérések közül a hűtőközeg-sebesség meghatározására koncentrálunk, mivel ez a módszer a Kosály György által is kutatott terjedő perturbációk elméletén alapul (lásd [1]).

A paksi reaktor zajdiagnosztikai rendszerek fejlődése

Az AEFI által létrehozott diagnosztikai rendszerek fejlődésének történeti áttekintését mutatja az 1. táblázat. A közel 30 éves fejlesztési időszak alatt a rendszerek teljesítőképessége rendkívüli mértékben megnőtt: a korai verziók 18 vagy 32 input jelet voltak képesek fogadni és MS DOS alatt működtek, míg az aktuálisan működő mai rendszer egy Windows-alapú, elosztott és távvezérelt konfiguráció, amely elvileg 2048 input jelet képes egyidejűleg fogadni és feldolgozni. A fenti fejlesztési folyamat fontos mérföldköveit az alábbi cikkek dokumentálják: [5] (PDR), [6] (KARD), [7] (JEDI), [8,9] (PAZAR).

1. táblázat Az AEKI által végzett reaktordiagnosztikai K+F tevékenységek áttekintése

Konfiguráció neve	Fejlesztési vagy kutatási tevékenység	Üzembe helyezés
PDR-1	A PAE 1. blokk diagnosztikai mérőláncainak és elektronikai eszközeinek első generációja	1979-1983
PDR-2	PAE 2. blokki konfiguráció (azonos az 1. blokkal)	1983
PDR-3 PDR-4	Az 1-2. blokki mérőláncok továbbfejlesztett verziója, üzembe helyezve a 3-4. blokkon	1983-1989
	Rendszeres zajdiagnosztikai mérések az összes paksi blokkon	1983-1989
KARD	Egy 64 csatornás, számítógépesített zajdiagnosztikai rendszer fejlesztése és üzembe helyezése a kalinyini atomerómű 1. blokkján (Oroszország, VVER-1000 típusú blokk)	1989-1992
CARD	A KARD rendszeren alapuló 32 csatornás rendszer üzembe helyezése a PAE 3-4. blokkon	1992-1993
JEDI	Windows platformon futó zajdiagnosztikai kiértékelő rendszer fejlesztése (AEKI konfiguráció, nem volt erőművi telepítés)	1992-1994
	32 csatornás zajdiagnosztikai interfész egységek üzembe helyezése a paksi 1-4. blokk VERONA zónaellenőrző rendszer PDA in-core adatgyűjtőjéhez kapcsolva	1993-1997
JEDI-2	Jelhitelesítő és zajdiagnosztikai adatgyűjtő / kiértékelő rendszer prototípus (AEKI konfiguráció, nem volt teljes léptékű erőművi telepítés)	1995-1997
	A 2. blokki kazettaforgalom anomáliák részletes kivizsgálása zajdiagnosztikai eszközökkel. Periodikus zajdiagnosztikai ellenőrző mérések végzése az összes paksi blokkon.	1997
CARD és JEDI-2	A CARD és a JEDI-2 hardver és szoftver elemeiből összeállított mérőrendszerek az 1-2. és a 3-4. blokkokon. Ezeket a diagnosztikai konfigurációkat 2005-től a PAZAR rendszerek váltották le.	1997-2005
	Új stratégia kidolgozása a PAE reaktorok zajdiagnosztikai méréseire. A stratégia megvitatása és elfogadása az erőműben.	2000
	Új, autonóm zajdiagnosztikai adatgyűjtő rendszer tervének kidolgozása (PAZAR = Paksi Autonóm Zajdiagnosztikai Adatgyűjtő Rendszer).	2001-2004
PAZAR-p	Az új rendszer prototípus verziójának üzembe helyezése a 4. blokkon	2004
PAZAR-3	Az új rendszer első teljes verziójának üzembe helyezése a 3. blokkon	2005
PAZAR-1,2,4	Az új rendszer teljes verziójának üzembe helyezése a további blokkokon	2005-2007
	Új zajdiagnosztikai kiértékelő rendszer (PAZAR-K) tervének és prototípusának kidolgozása	2007
PAZAR-K	A kiértékelő rendszer üzembe helyezése az összes blokkon	2007-2008

A ma működő paksi diagnosztikai mérő- és kiértékelő rendszer

A paksi atomerómű 2002-ben kezdte meg a reaktor zajdiagnosztikai rendszerek felújítását, hogy a blokkok tervezett teljesítménynövelésének megvalósulásakor már modernizált, megfelelő kapacitással bíró zóna-diagnosztikai rendszerek álljanak rendelkezésre. Az első, prototípus rendszer 2004-ben a 4. blokkon lépett üzembe, hogy az új mérő-, adatgyűjtő konfigurációt a helyszínen, valós körülmények között, tartós próbaüzemben ellenőrizzék. Az új rendszer a PAZAR (Paksi Autonóm Zajdiagnosztikai Adatgyűjtő Rendszer) nevet kapta, az első teljes értékű konfigurációt a 3. blokkon helyezték üzembe 2005-ben, majd 2008-ig a többi blokk is új mérőrendszert kapott.

A jelenlegi PAZAR rendszer 384 input jelet képes egyidejűleg feldolgozni, de az input jelek száma elvileg 2048-ra bővíthető, megfelelő input modulok hozzáadásával.

Az aktív zónából és a primerkörüli hurkokból származó, aktuálisan mért jelek az alábbiak:

- 252 db béta-emissziós neutron detektor áramjele (self powered neutron detector = SPND),
- 36 db SPND háttér-detektor áramjele,
- 31 db termopár termofeszültség jele (ezek választhatók a 210 db kazetta kilépő termopár, illetve a 12 hidegági, valamint a 12 melegági hurok termopár közül),
- 1 db referencia jel (ezt a mérések validációjára és tesztelésére használják),
- 32 db tartalék jel (ezek egyéb technológiai jelek csatlakoztatására fenntartott csatornák).

Az input jeleket a rendszer egy speciális zajdiagnosztikai-csatoló interfészen keresztül kapja, az interfész a VERONA zónaellenőrző rendszer PDA adatgyűjtőjének szekrényeihez csatlakozik. A speciális csatlakozás biztosítja, hogy a diagnosztikai rendszer olyan input jeleket kapjon, amelyek

még tartalmazza azt a zajt (fluktuációkat), ami értékes információt hordoz az aktív zónában éppen zajló folyamatokról. Az input jeleket a PAZAR jelkondicionáló moduljai fogadják, ezekben – előerősítés után – minden inputot kettéosztanak és aluláteresztő szűrőn vezetnek át, hogy az egyenáramú (DC) és a fluktuáló (AC) komponenset kettéválásszák. Jelkondicionálás szempontjából a termopárok megfelelő leválasztása alapvető fontosságú feladat, hiszen ezeket a méréseket a zónaellenőrző rendszer is feldolgozza. A PAZAR input oldala ezért nem csatlakozhat közvetlenül az aktív zóna méréseihez, a termopárok jelei csak egy speciális jelleválasztó modulon át jutnak el a rendszerbe.

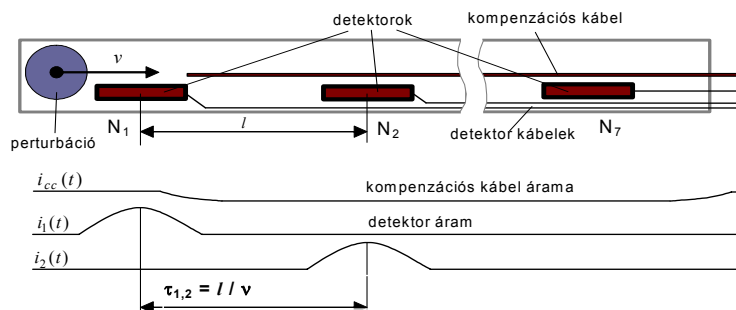
Mindkét komponenst 100 Hz mintavételi frekvenciával digitalizálják, de az egyenáramú részt csak 3,125 Hz frekvenciával tárolják (ezzel jelentős diszkrét területet lehet megtakarítani, mivel mindkét részt tárolja a rendszer). A jelkondicionáló és mérő modulok szabványos, nagy pontosságú, ipari kivitelű National Instruments eszközök. Az adatgyűjtő egységet egy ipari PC képviseli, amely egy szabványos adatgyűjtő kártyát tartalmaz. Az adatgyűjtő kártya bemeneteit 22 db, egyenként 32 csatornás multiplexer modul segítségével terjesztik ki a szükséges számú input jel befogadására. A rendszer az elérhető input jelekből kiválasztott tetszőleges input jelfelületet képes megmérni kézi vagy automatikus mérésindítással. Egy mérés szokásos hossza egy óra, de lehetőség van tetszőleges hosszúságú mérések kivitelezésére (a mérési időt csak a PC rendelkezésre álló tárolási kapacitása korlátozza). Az adatgyűjtés a kliens-szerver modellnek megfelelően folyik. Egy-egy szerverkonfiguráció található minden blokkon a számítógépteremben. Ezek lényegében autonóm adatgyűjtő rendszerek, melyek felépítése azonos: jelkondicionáló modulok, multiplexer egységek és egy Windows alatt futó ipari PC gyors A/D átalakító kártyával. A kliens egy alkalmas és a megfelelő jogosultságokkal felruházott Windows gépen fut, ez a gép az erőmű belső hálózatán át csatlakozik a mérő-adatgyűjtő szerverhez. Az adatgyűjtést a szerver autonóm módon végzi, de a méréseket a kliens gépről, távolról lehet vezérelni. A digitalizált mérési eredményeket a szervergép lokálisan tárolja, de az adatállományokat a feldolgozáshoz és archiváláshoz át kell másolni a kliens gépre, ahol lényegesen nagyobb tárolókapacitás áll rendelkezésre, és elvégezhető a részletes kiértékelés.

Az adatgyűjtő szoftver kezeli az input jelek kiválasztását, a mérési paraméterek (pl. az egyedi erősítések) beállítását,

elvégzi a mérést, miközben monitorozza a mérési folyamatot. A szoftver tartalmaz egy egyszerű jelhitelesítési algoritmust is, amellyel a durva távado hibák kiszűrhetők. A szakértői felhasználóknak további szolgáltatások állnak rendelkezésre, pl. az erősítések optimális beállítása, önteszt, az adatbázis karbantartása, on-line segítség stb.

A fentiekben leírt kliens-szerver modell jól szolgálta a zajdiagnosztikai központ kialakítását az erőműben. Ebből a központból vezérlik a négy blokkon működő szervergépeket, emellett itt történik a mérések részletes kiértékelése, a magas szintű eredmények megjelenítése, értelmezése és dokumentálása. A központi gép nagy diszkapacitással rendelkezik, hogy a primer mérési adatokat és a kiértékelési eredményeket hosszú ideig lehessen tárolni. A hosszú idejű zajparaméter-trendeket is itt készítik, ezek jól segítik a változások detektálását és egy-egy anomália első fellépésének időbeli lokalizációját (további részletek a [9] dokumentumban találhatóak).

Annak érdekében, hogy az új, nagypontosságú és nagyszámú bemenő jelet fogadó adatgyűjtő rendszer által nyújtott lehetőségek teljes mértékben kihasználhatók legyenek, az erőmű egy új jelfeldolgozó- és kiértékelő rendszer fejlesztésével bízta meg az AEKI-t. A fejlesztés eredménye a PAZAR-K szoftver keretrendszer, amely a kiértékelő algoritmusok széleskörű választékán kívül egy teljesen átalakított felhasználói felületet is biztosít a kezelőknek. A rendszer tartalmazza az alapvető jelkezelési algoritmusokat (a nyers mérési adatok kezelése, elsődleges hihetőség vizsgálata, a nagytömegű adat hatékony tárolása és gyors elérése), továbbá az alapvető zajdiagnosztikai feldolgozó- és kiértékelő eljárásokat (pl. gyors Fourier-transzformáció, spektrumok, koherencia, fázis, impulzus válaszfüggvény számítása). Az új kezelői felület legfontosabb újdonságát az ún. feladatorientált képernyők jelentik: ezek egy-egy meghatározott kiértékelési feladat elvégzését támogatják dedikált grafikus elemekkel (pl. zónatérképekkel) és automatizált kiértékelési eljárásokkal segítik a szakértő felhasználók munkáját. A rendszer ma az alábbi „szakértői” kiértékelő modulokkal rendelkezik: kombinált jelhitelesítés, idősorok megjelenítése, az FFT feldolgozás eredményeinek megjelenítése (pl. teljesítmény sűrűség, fázis, kovariancia, transzfer- és impulzus válaszfüggvény ábrázolása), a szabályozó rudak rezgésanalízise, hűtőközeg sebességek meghatározása az SPND detektorokkal felszerelt kazettákban.



1. ábra: A terjedő perturbációk tranzitidejének értéke megadható az SPND detektorok áramjeléből

A hűtőközeg sebességének meghatározása az aktív zónában

A paksi atomerőműben a reaktorzaj-diagnosztikai rendszert jelenleg az SPND detektorokkal felszerelt kazettákban a hűtőközeg sebességének meghatározására, valamint a szabályozó rudak rezgéseinek detektálására alkalmazzák az összes blokkon rendszeresen végzett mérések alapján. A hűtőközeg kazettán belüli sebességének meghatározása azon alapul, hogy a reaktor zónáján átfolyó hűtőközegen kialakuló inhomogenitások perturbációkat keltenek a neutronfluxus nagyságában, mivel az inhomogenitások megváltoztatják a makroszkopikus hatáskeresztmetszet lokális értékét. Az inhomogenitásokat pl. a hűtőközegen fellépő sűrűség-fluktuációk okozzák. A béta-emissziós (SPND) detektorokkal felszerelt kazettákban a perturbáció rendre elhalad az összes detektor előtt, kismértékben megváltoztatva a detektorok áramjelét (lásd az 1. ábrát). A terjedő perturbáció okozta transziens az összes detektor jelében egymás után jelentkezik, két szomszédos detektor érzékelési időpontja közötti különbség arányos a két detektor távolságával. Így ha meghatározzuk a fenti időeltérést, akkor megkapjuk a hűtőközeg sebességét is az adott kazettában.

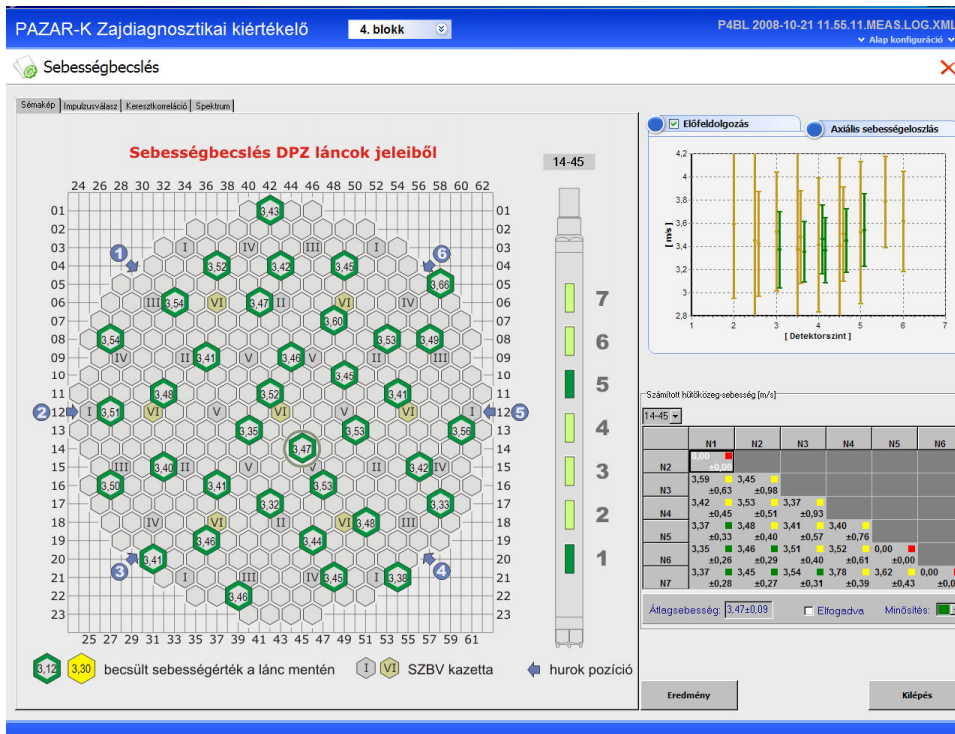
A PAZAR-K rendszer a tranzitidőt a fentiekben leírt egyszerű modellnél bonyolultabb módon, az ún. impulzus válaszfüggvény alapján határozza meg (részletes leírást pl. [10] tartalmaz). A sebességek kiértékelését egy feladat-orientált képernyő támogatja, ezt mutatja a 2. ábra.

A reaktorban terjedő perturbációk korrelációinak elemzésénél nehézséget jelent, hogy a detektor nemcsak az

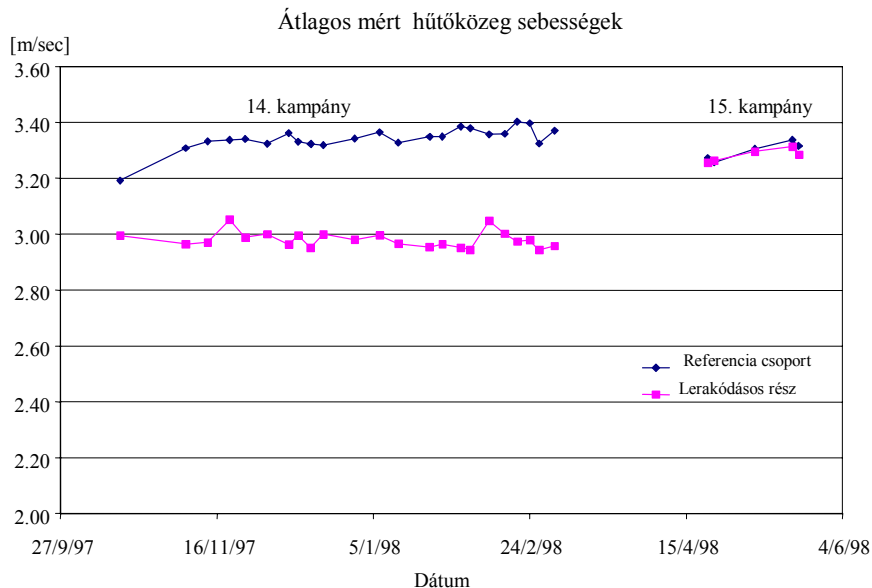
előtte elhaladó perturbációt látja, hanem a reaktor minden pontjában érzékelhető ún. globális zajt is. Ez azt jelenti, hogy a detektor egyszerre egy lokális és egy globális zajmezőt is mér. (A lokális-globális koncepció kidolgozásában Kosály György is tevékenyen részt vett, részletesebb információ az [1, 11, 12, 13, 14] publikációkban található.) A globális zajkomponens miatt a detektorok közötti korrelációs- és fázisfüggvényekből a tranzitidő pontos meghatározása esetenként nem lehetséges. Ezen a problémán segít az impulzus válaszfüggvény használata, mert ebben a globális zajkomponens hatása lényegesen kisebb.

A zajdiagnosztikai mérések használata a gyakorlatban

Az erőműben már az 1980-as években végeztek különféle zajdiagnosztikai méréseket, de a hűtőközeg sebességének szisztematikus mérésére csak 1997 után került sor, amikor a 2. blokkon először tapasztalták lerakódások megjelenését. Az azóta eltelt időszakban minden blokkon rendszeresen (kb. havonta) végeznek zajdiagnosztikai méréseket, először a CARD, majd 2005 óta az újonnan telepített PAZAR rendszerrel (ld. 1. táblázat). A mérések fő célja a hűtőközeg sebességének meghatározása az SPND detektorral felszerelt 36 kazettában, majd ezen adatok alapján a zónán átfolyó hűtőközeg átlagos sebességének megadása (ez a mennyiség jól mutatja a zónaforgalom globális változásait). A másik cél az aktív zónában fellépő rezgések, vibrációk felismerése és lokalizációja (a rezgések forrásoként, konstrukciójuk miatt, elsősorban a szabályzó kazetták jöhetnek számításba.).



2. ábra: A hűtőközeg sebességének meghatározását támogató PAZAR-K képernyő



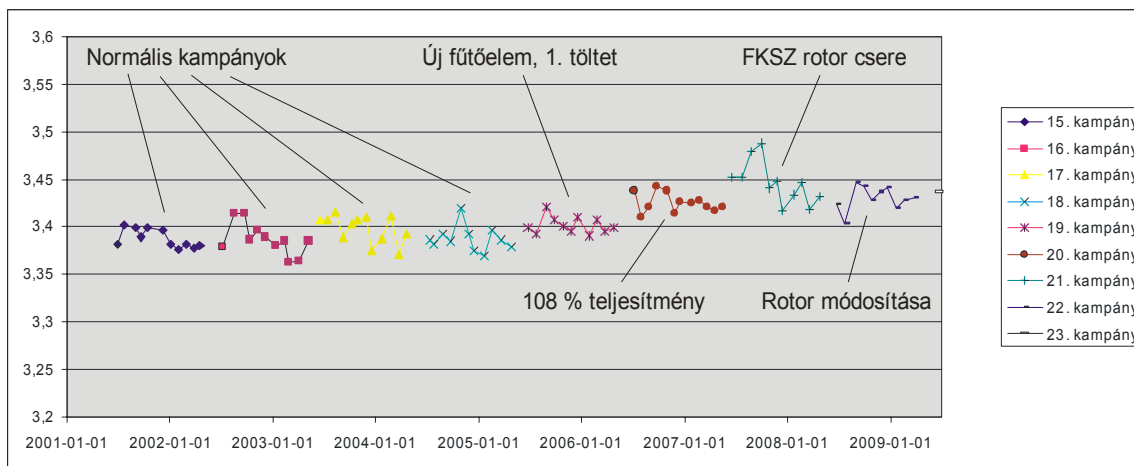
3. ábra: Hűtőközegsebesség-mérések a 2. blokk 14. és 15. kampányában ([15] alapján)

Az egyedi kazettákon átfolyó hűtőközeg tömegáramát és sebességét számításokkal szokás megadni: a teljes zónaforgalmat „szétosztják” a kazetták között azok egyedi termodinamikai jellemzői alapján. Bizonyos szituációkban (pl. lerakódásokkal terhelt zónák esetén) viszont nagyon fontos lehet a kazetták egyedi forgalmának mérés útján történő ellenőrzése, az általunk rutinszerűen alkalmazott módszer erre ad egy közvetlen megoldást. A módszert hatékonyan alkalmaztuk 1997-ben és 1998-ban a 2. blokki lerakódások vizsgálata során. A metodológiát és az eredményeket nem ismételjük itt meg, ezeket a [15] cikk részletesen tárgyalja. Itt csak azt mutatjuk meg, hogyan bizonyította a zajdiagnosztikai módszer, hogy az új, csak lerakódásmentes kazettákból álló zóna betöltése után a zóna újból tiszta.

A 3. ábra együtt mutatja a 2. blokk 14. kampányban és a 15. kampány elején végzett mérések eredményeit. A 14. kampányban a lerakódással terhelt zónarészben és a

tisztának ítélt részben elhelyezkedő kazettákra kapott hűtőközeg sebességek szignifikánsan különböznek, így két jól elkülönülő görbére rendeződnek a mérési pontok. Az erőmű úgy döntött, hogy a 2. blokk 14. kampányának teljes töltetét kirakja, és helyébe tiszta, lerakódásoktól bizonyítottan mentes kazettákból álló töltetet rak be. Ezzel a töltettel indult a 15. kampány, amely már a diagnosztikai mérések szerint is tiszta zónával működött, hiszen a 14. kampányban még jól szétváló mérések tökéletesen egybeestek, azaz nem volt számottevő eltérés a zóna különböző részeiben elhelyezkedő kazetták mérései között.

Szintén fontos diagnosztikai alkalmazás a hosszú idejű sebességtrendek képzése és elemzése. A 4. ábra a 4. blokki aktív zóna átlagos hűtőközeg sebességének hosszú idejű trendjét ábrázolja. A feltüntetett mérési pontok az utóbbi 8 év rendszeres méréseinek eredményét mutatják.



4. ábra: Hosszú idejű trend, amely a zóna átlagos hűtőközeg sebességét mutatja a 4. blokkra m/s egységben (az ábrán feltüntetett az elmúlt időszak fontos technológiai eseményeit)

Látható, hogy a „normális” kampányokban (2006-ig) az átlagsebesség elég stabil viselkedést mutat, kampánytól függetlenül azonos érték körül mozog. Kissé megnőtt az átlagsebesség, amikor az újfajta (nagyobb rácsosztású) kazettákat rendre betöltötték a zónába. Erre az újfajta üzemanyagra a teljesítmény növelése miatt volt szükség, mivel kissé növeli a kazetták hűtőközeg forgalmát, ezt a növekedést a diagnosztikai mérések egyértelműen kimutatták. Szintén a módszer érzékenységét mutatja a 21. kampány elejétől látható sebességnövekedés: ebben a

kampányban a zóna forgalma kissé tovább növekedett annak következtében, hogy az egyik fő keringtető szivattyú (FKSZ) rotorját kicserélték, és az új rotor kissé nagyobb forgalmat produkált az FKSZ-hez tartozó primerköri hurokban. A 21. és a 22. kampány közötti átrakás alatt a rotort leköszörülték, hogy a hurokforgalmak közelítőleg azonosá váljanak. Ennek a műveletnek a hatását is világosan kimutatja a diagnosztikai mérés, hiszen a 22. kampány elején mért átlagsebesség visszaállt rotorcsere előtti 20. kampánynak megfelelő értékre.

Irodalomjegyzék

- [1] Behringer K., Kosály G., Pázsit I.: *Linear Response of the Neutron Field to a Propagating Perturbation of Moderator Density (Two-Group Theory of Boiling Reactor Noise)*, *Nuclear Science and Engineering*, Vol. 72, pp. 304-321, 1979.
- [2] Kosály G.: *Noise Investigations in Boiling-Water and Pressurized Reactors*, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 5, pp. 145-199, 1980.
- [3] Katona T., Meskó L., Pór G., Valkó J.: *Some Aspects of the Theory of Neutron Noise due to Propagating Perturbances*, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 9, pp. 209-222, 1982.
- [4] Valkó J., Pór G., Czibók T., Izsák É., Holló E., Siklóssy P.: *Experiences with Noise Analysis at Paks Nuclear Power Plant*, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 15, pp. 403-412, 1985.
- [5] Pór G., et al.: *Sophisticated systems for analysing standard signals of a PWR NPP for diagnostic purposes*, *Proc. of the 6th Power Plant Dynamics, Control and Testing Symposium*, Knoxville, Tennessee, USA, 1986.
- [6] Pór G., et al.: *Development and utilization of an automated reactor noise measuring and processing system*, *Proc. of SMORN VI*, Gatlinburg, USA, 1991.
- [7] Rác A. et al.: *A family of integrated information and expert systems for plant noise analysis*, *Proc. of SMORN VII*, Avignon, France, 1995.
- [8] Végh J., Horváth Cs., Kiss S., Lipcsei S., Major Cs.: *Utilization of Modern Hardware and Software Technologies for the Creation of Process Information Systems Providing Advanced Services and Powerful User Interfaces*, *Proceedings of the IAEA TM on Impact of Modern Technology on Instrumentation and Control in NPPs*, Chatou, France, September, 2005
- [9] Lipcsei S., et al.: *Development and Application of a New Signal Evaluation Software and Human-Machine Interface for a Reactor Noise Diagnostics System*, *Proceedings of the 6th International Topical Meeting on NPIC & HMIT*, April 2009, Knoxville (Tennessee), USA
- [10] Lipcsei S., et al.: *Autonomous data acquisition system for Paks NPP process noise signals*, *Int. J. Nuclear Energy Science and Technology*, Vol. 1, No. 4 (2005) pp. 324-333.
- [11] Kosály György: *Könnyűvízzel moderált atomreaktorokban uralkodó neutron-zaj lokális és globális komponensének vizsgálata*, *Doktori értekezés*, KFKI, Budapest, 1976.
- [12] Behringer K., Kosály G., Kostić L.: *Theoretical Investigation of the Local and Global Components of the Neutron-Noise Field in a Boiling Water Reactor*, *Nuclear Science and Engineering*, Vol. 63, pp. 306-318, 1977.
- [13] Kosály G., Kostić L., Miteff L., Váradi G., Behringer K.: *Investigation of the Local Component of the Neutron Noise in a BWR and its Application to the Study of Two Phase Flow*, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 1, pp. 99-117, 1977.
- [14] Kosály G., Albrecht R.W., Crowe R.D., Dailey D.J.: *Neutronic Response to Two Phase Flow in a Nuclear Reactor*, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 9, pp. 23-36, 1982.
- [15] Adorján F., Czibók T., Kiss S., Krinisz K., Végh J.: *Core asymmetry evaluation using static measurements and neutron noise analysis*, *Annals of Nuclear Energy* 27 (2000) pp. 649-658.