

AZ »ATOM-ROZSDA« GAMMA-SPEKTROMETRIÁJA ÉS AZ ATOMERŐMŰVEK BIZTONSÁGOS MŰKÖDÉSE

Raics Péter

DE Kísérleti Fizikai Tanszék és

Quantechologies Kutatási és Fejlesztési Kft., Debrecen

Csom Gyula írja: „Az atomenergetikai berendezések üzemzavarait kiváltó okok között a korrózió előkelő helyet foglal el.” ([1], 405. o.). Ezt – sajnos – a 2003-as paksi események drága leckéje is igazolta [2]. Mi köze egy atommagfizikával foglalkozó fizikusnak ehhez, amit elvileg a vegyészek témájaként illik emlegetni? Túl azon, hogy fizikai folyamatok képezik a kémiai (és biológiai) jelenségek alapjait, a korszerű vizsgálati eljárások mindenhol a fizikusok által fejlesztett módszereken alapulnak. A továbbiakban leírt nem-magfizikai folyamatok pontatlansága miatt a szerző előre is elnézést kér, mert az atomerőművekben mintegy három évtized során szerzett tapasztalatait csak az egyszerűsítő fizikusi elmével próbálja értelmezni, főleg a kétkörös nyomottvízes reaktorokra (VVER, PWR) vonatkozóan.

Érdekes a kérdés: milyen technikai feladatok megoldása teszi lehetővé a nukleáris energia nagy léptékű és gazdaságos felszabadítását háborús vagy békés célokra? A fizikai elv a maghasadás és a fúzió, amelyek lényeges tulajdonságait a legegyszerűbb eszközökkel (például GM-cső) már az 1930-as években kiderítették, ám a műszaki megvalósításhoz a „hagyományos” technológiákat kellett jelentősen továbbfejleszteni és alkalmazni. Az egy- és kétfokozatú bombáknál a hatás teljes kifejlődéséhez megfelelő ideig együtt kell tartani a tölteteket. Vajon a békés célú energiafelszabadításhoz milyen műszaki fejlesztések szükségesek? A fúziós energiatermelés ipari méretű megvalósítása rendkívül bonyolult műszaki-technológiai problémák megoldatlansága miatt (évtizedek óta) késik.

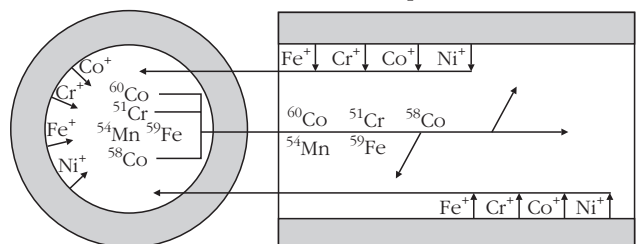
A maghasadásos atomerőmű reaktorának biztonságos működését, a teljesítmény szabályozhatóságát és egyenletességét – sok más tényező mellett – a neutronelnyelő bór változó koncentrációjú savas oldata biztosítja [3]. A primer körben a víz hőmérséklete 270–300 °C, amihez 123 bar nyomás tartozik. Ilyen körülmények között még a csak néhány százalékos bórsav is igen agresszív, annak ellenére, hogy különféle adalékokkal igyekeznek csökkenteni hatásait,

továbbá a primer kör belső acélfelületei különleges védőréteggel vannak ellátva („plattírozás”). A sokfajta egyéb kölcsönhatás, a nagy sebességgel áramló hűtővíz (10 000-es nagyságrendű Reynolds-szám!), valamint rezgések és anyagbeli feszültségek miatt – a kémiai mellett – mechanikai eredetű korrózió (erózió) is fellép. Mindezt a hatalmas sugárzás hatásai – mind a hűtővízben, annak adalékaiban, szennyeződéseiben és azok kölcsönhatásaiban, mind a felületek anyagában – befolyásolják. Ehhez jönnek még a magreakciók elemátalakító hatásai, amelyek további kémiai folyamatokat indítanak el, megváltoztatják a pH-t, ami újabb adalékokat követel [4], de ezek kellemetlen hatásait kompenzálni kell ..., jaj! Az atomerőművek vízüzeme a biztonság egyik fontos záloga és egyúttal művészet. Ebben közreműködni a fizikus számára tanulást, sok izgalmas feladatot és egyben megtiszteltetés is jelent.

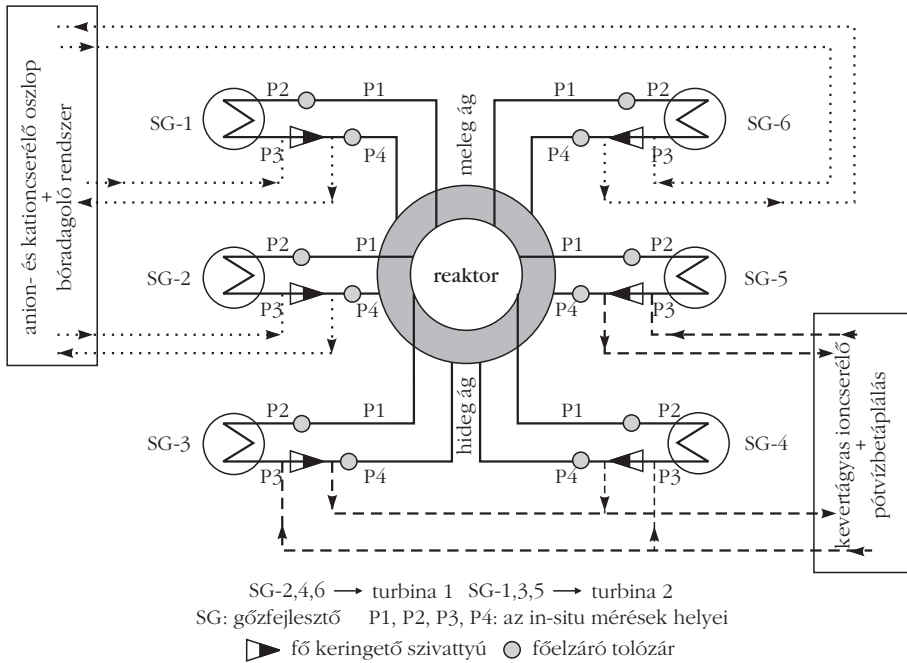
Az atommagreaktorok primer körében lejátszódó folyamatok

Az 1. ábra a hűtővízben megjelenő atomok/ionok kémiai, illetve izotópjaik magfizikai folyamatait mutatja. Az acélból és egyéb anyagokból (fűtőelemek Zr/Nb ötvözetű fala, tömitések, hegesztések-forrasztások [1]) származó korróziótermékek mellett még a fűtőelemek burkolatának hajszálrepedésein keresztül kijutó hasadási termékek is bekerülnek a vízáramba. Ez a „leves” a reaktor neutronterében felaktiválódik és a primer körben kering. A leálláskor bekövetkező hőmérséklet-csökkenés folytán az izotópok jelentős része lerakódik a csövek belső falán, a „nem-fixált szennyeződés” pedig a folyadékfázisban marad. Az előbbi „kívülről” csak gamma-sugárzása révén észlelhető, az utóbbi összetételét az atomerőmű vegyi laboratóriumaiban speciális mintavételi eljárást használó kémiai és nukleáris technikákkal vizsgálják. A koncentrációtól, korróziótól és a hőmérséklettől függően

1. ábra. Korrózió eredetű radioizotópok keletkezése a primer körben. reaktor (neutronforrás) primer kör



Raics Péter 1967-ben szerzett fizikus diplomát a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemen. A Kísérleti Fizikai Tanszéken kezdett dolgozni, ahol nyugdíjba vonulása óta is óraadó. Egyetemi tankönyvek, jegyzetek társszerzője. Kutatómunkája a magreakciók kísérleti vizsgálata, részecskefizika és ezekhez eszközfelállítás. Három évtizede foglalkozik az atomerőmű-biztonság mérés technikájával. Segíti a fizikatanárok továbbképzését, tudományt népszerűsítő előadásokat, kísérleti bemutatókat tart.



2. ábra. A paksi VVER-440/213 blokk primer körjének egységeinek kapcsolása és a mérési pontok. Szaggatott és pontozott vonalak: a részáramú berendezések csatlakozása a fővízkörhöz (folytonos vonal).

a kötegekben egymástól 1 mm-re lévő elemek falán kampány közben is történhet kiválás, ami a víz áramlását akadályozva a hűtés veszélyes romlását és a teljesítmény jelentős csökkenését okozhatja (Paks, 2003 [2]). A közeljövő 3+ generációs erőműveiben (például Paks2) már sok olyan megoldást alkalmaznak, amelyek ezeket a veszélyeket lényegesen csökkentik, de a vízkémia kihívásai továbbra sem tűnnek el: a hatalmas primer körjének felületek a korrózió kiinduló helyei (forrásai) és egyúttal végállomásai, bonyolult és állandóan változó kölcsönhatások a folyadék és szilárd fázis között, mindkettőt befolyásolja a hatalmas és időtől-tértől függő sugárzási környezet [4].

A továbbiakban az MVM Paks Atomerőmű Zrt. négy VVER-440/213 típusú reaktorblokkján a Vegyészet Osztály felkérésére 1985 óta végzett méréseink alapján mutatjuk be a korróziós és hasadási termékek helyszíni (*in-situ*) gamma-spektrometriájával kapott eredményeinket, a 122 reaktorév tapasztalatait.

Mérési helyszínek és a Pakson alkalmazott technika

Az atomerőművek működésének alapjai, valamint a paksi egységek felépítésének részletei az atomerőmű honlapján [5] tanulmányozhatók. Az egyenként 500 MWe (1485 MWh) teljesítményű paksi blokkok méréseink szempontjából érdekes néhány adata: a 6 darab gőzfejlesztőben lévő hőátadó csövek összfelülete 12 552 m² (közel két focipálya), a primer kör vízzel érintkező része 17 552 m² területű, teljes térfogata 205 m³.

A 2. ábrán a primer körjének elemek leegyszerűsített kapcsolatai és az *in-situ* gamma-spektrometria 24 pontjának elhelyezkedése látható a fővízkör csövein.

Blokkonként a hatból egy gőzfejlesztő tengelye mentén 17 helyen történik gamma-spektrometria. A kevertágyas ioncserélő oszlop függőleges aktivitáseloszlása 10 magasságban kerül meghatározásra. A dózisprofil minden egységen felvesszük. Időnként a pótvízszivattyú-rendszer analízisére is szükség van.

A geometriától és a várható sugárterhelésnek megfelelő hatásfokú HpGe-detektorok kerülnek alkalmazásra, az optimális spektrumszerkezet figyelembevételével. Szükség esetén különlegesen nagy érzékenységet multikristályos („clover” elrendezésű) HpGe-rendszereket használtunk. A hordozható detektorok ólomvédelemmel és kollimátorral felszerelve észlelik a gamma-sugárzást, amelynek spekt-

rumából a vizsgálandó egységek belsejében felhalmozódott radioaktív izotópok fajtája és mennyisége megállapítható. A detektorok előerősítőjét a digitális jelfeldolgozó egységgel 100 m-es kábelleveg kapcsolja össze: így csak a spektrométer helyzetének beállításához szükséges a nagyobb dózissal helyszínen tartózkodni. A 3. ábrán egy 10 cm³ érzékeny térfogatú mobil HpGe-detektor analizálja a gamma-spektrumot a primer kör egyik pontján.

A blokkonként három helyszínen felvett mintegy 100 gamma-spektrum kiértékelésének végeredménye felületi aktivitás (Bq/cm²), illetve aktivitáskoncentráció (Bq/cm³), amelyek tömegsűrűségük számíthatók át (például g/cm³). A komplex felületi hatásfok a mért *I* csúcshintenzitásokat kapcsolja az *A/F* (Bq/cm²) fajlagos (felületi) aktivitáshoz. A következő kifejezés egyszerűsített formában megadja, hogy valamely *r* pont-

3. ábra. *In-situ* gamma-spektrometria a primer körjének fővízkör 3. pontján. Az Pb-árnyékolás és kollimátor a HpGe-detektorral egy szét-szedhető asztalon van elhelyezve. (A fényképet a Paks Atomerőmű Vegyészet Osztálya készítette és bocsátotta rendelkezésünkre.)

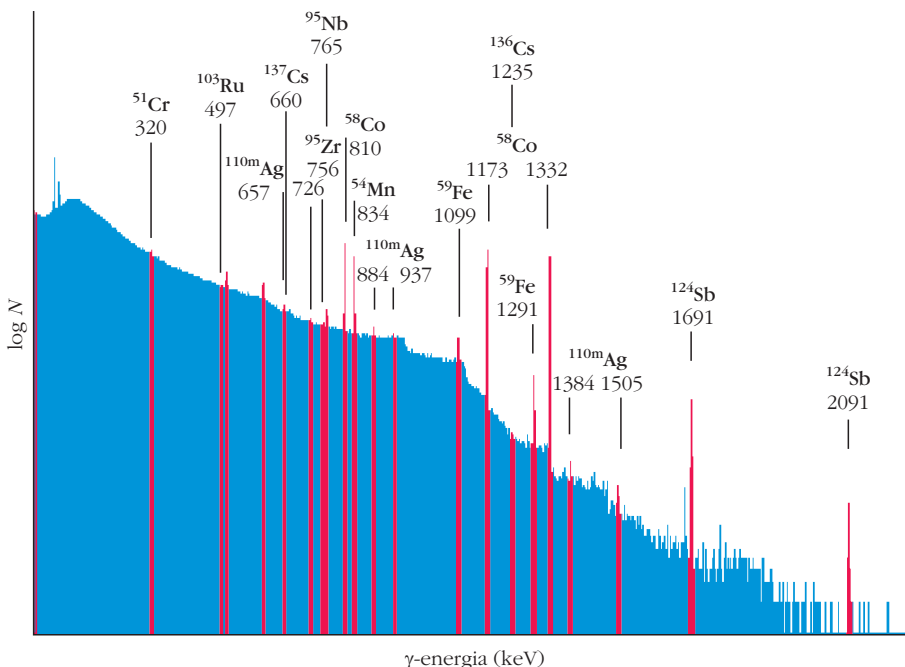


ban lévő dF felületű forrásból a γ elágazási arányú, E energiával rendelkező foton μ súlyozott abszorpció tényezőjű anyagokon áthaladva és η hatásfokkal detektálódva időegység alatt milyen csúcsterületet ad (K : egyéb korrekciók).

$$dI = \left(\frac{A}{F} \right) \gamma K(E) \eta(E, r) e^{-\mu(E)r} dF.$$

Különböző elrendezésekre végeztünk szimulációkat, amelyeket valós mérési eredményekkel validáltunk. A gyakorlatilag ellenőrizhetetlen külső háttér miatt páros mérések történnek. Az izotópok minden jelentős vonalát felhasználva számítjuk ki az aktivitásokat, így ellenőrizve a hatásfok energiafüggését. A számlálási veszteségek korrekciója nagy aktivitásoknál a 40%-ot is elérheti. A statisztikus hibák a csúcsok intenzitásától, spektrumbeli helyzetétől, valamint a háttértől függenek, és széles határok között változva néhány százaléktól akár $\pm 200\%$ -ig terjedhetnek (1σ bizonytalanság értelemben). A szisztematikus hibát – beszámítva a helyszíni mérés nehéz körülményeinek néhány bizonytalan tényezőjét – $\pm 30\%$ alattinak becsljük. Az egyes izotópokra vonatkozó általános érzékenységet, minimálisan detektálható aktivitást nehéz megadni a helyről-helyre változó összetételű spektrum Compton-kontinuuma miatt (4. ábra), továbbá függ a felezési és hűlési idő viszonyától is (a mérések többnyire a leállás után 2 héttel kezdődnek). Néhány jellemző érték egy 10 cm^3 -es detektorra: ^{60}Co (1173 és 1332 keV) $\sim 30 \text{ Bq/cm}^2$; ^{51}Cr (351 keV): $\sim 2000 \text{ Bq/cm}^2$. Az említett szélsőséges határok – nem beszélve az elektromosan és fülsüketítően zajos, meleg és sugárveszélyes környezetről, ahol néha radioaktív folyadék ömölhet, vagy nagyobb vastárgy zuhanhat a mérőszekőkre (is) – jól mutatják a mérések nehézségeit.

4. ábra. A primer körüli hurok egyik pontjában mért gamma-spektrum.



Eredmények és értelmezésük

A 4. ábrán a primer körüli főkeringtető hurok egyik pontján felvett, nyitott kollimátorral analizált gamma-spektrum látható. A nyert felületi aktivitások egyes pontokbeli arányai, a vizsgált három egység közötti eloszlásai, továbbá az egész időbeli változásai a vízkémiát és a felületek állapotát, folyamatait jellemezhetik – gondolja a fizikus.

Az észlelt atommagok eredete

A különböző helyeken végzett méréseink során mintegy 30 nuklidot tudtunk azonosítani. A fontosabb izotópok felezési ideje és származási eleme korrózió miatt többnyire (n, γ) , esetleg (n, p) magreakciókkal:

- az acélból eredően ^{51}Cr (27,7 nap; Cr), ^{54}Mn (312,2 nap; Fe), ^{59}Fe (44,6 nap; Fe), ^{58}Co (70,78 nap; Ni), ^{60}Co (5,27 év; Co),
- fűtőelemek Zr/Nb ötvözetű burkolatából: ^{95}Zr (64,0 nap; Zr), ^{95}Nb (35,1 nap; Nb és $^{95}\text{Zr} \beta^-$)*¹,
- fém tömítés, hegesztés/forrasztás, ... (?): ^{110m}Ag (250,4 nap; Ag),
- védőbevonat: ^{124}Sb (60,3 nap; Sb)**,
- adalékanyagból, szennyezésből: ^{24}Na (14,96 óra; ^{23}Na) és
- reakcióban keletkezettek közül p-indukált további folyamatokkal ^7Li -izotópokon: ^7Be (53,3 nap).

Jellegzetes hasadási termékek (a megelőző stabil izotóp által védett nuklidoktól eltekintve):

- direkt úton: $^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}^*$, ^{103}Ru (39,35 nap), ^{131}I (8,04 nap), ^{137}Cs (30,08 év), $^{140}\text{Ba}/\text{La}$ (12,75 nap / 1,68 nap), ^{141}Ce (32,5 nap), $^{144}\text{Ce}/\text{Pr}$ (284,9 nap / 17,3 min),
- hasadási termék + (n, γ) reakcióból: ^{124}Sb (60,3 nap; ^{123}Sb)**, ^{134}Cs (2,06 év; ^{133}Cs), ^{136}Cs (13,16 nap; ^{135}Cs), ami a ^{137}Cs keletkezését is befolyásolja.

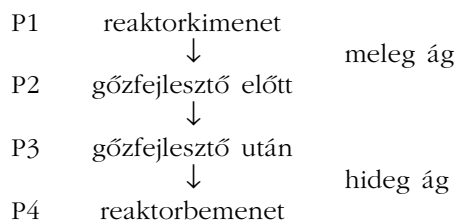
A ^{54}Mn és a ^{59}Fe egyaránt a vastól származik, így két különböző reakcióval és nagyon eltérő élettartammal mérik ugyanazt az elemet, amivel a keletkezés idejére – esetleg a korróziós folyamat kiindulási helyére, vagy a transzport irányára a hurkok és a gőzfejesztők között – lehet következtetni. A ^{60}Co izotóp adja a felületi aktivitás $\sim 40\%$ -át (tömegben 90% -át) és két nagy energiájú fotonjával pedig a dózisteljesítmény $\sim 60\%$ -át. A hasadási termékek egészségre legveszélyesebbike a fűtőelemek borításának meghibásodása folytán könnyen kiszabaduló ^{131}I .

¹ A * és ** jelölésű nuklidok mind korróziós, mind hasadási terméként keletkezhetnek.

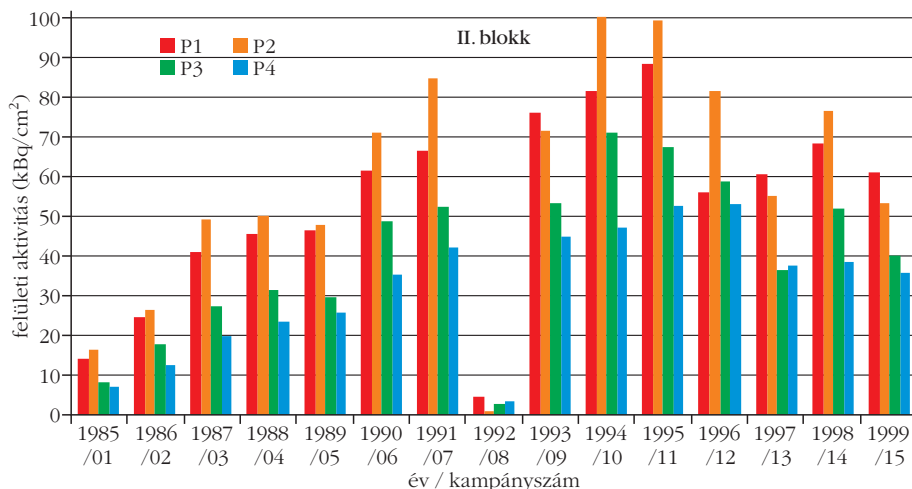
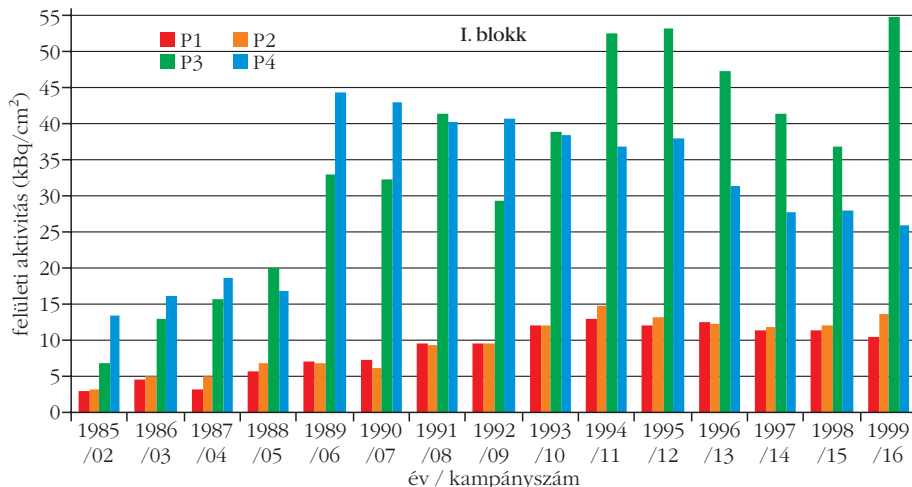
A reaktorok primer körében lévő anyagmennyiségek, a hatalmas neutron-sűrűség és az éves besugárzási idő teszi érthetővé a másodlagos folyamatok nem elhanyagolható szerepét. Ennek ellenére a ${}^7\text{Be}$ 477 keV-es gamma-vonalának észlelése megrázó élmény a magfizikus számára, hiszen a ${}^7\text{Li}(p,n)$, a ${}^6\text{Li}(p,\gamma)$ és a ${}^{10}\text{B}(p,\alpha)$ *proton-indukált reakciók hozzák létre* jelentős aktivitással! Vagyis, a lassító közegben az (n,p) szórás első ütközésekor keletkező nagy energiájú protonok fluxusa egészen elfogadható teljesítményű töltőtárcsacskegyorsítót utánoz.

Hideg-meleg ági aszimmetriák

A 2. ábrán jelölt pontok egyik értelmezése a hőhordozó csökkenő hőmérséklete szerint:



5. ábra. A hurkok pontjaira összegzett felületi aktivitások hideg ág – meleg ág viszonyának időfűgése az I. és II. blokk kampányaiban.



A hőmérséklet az oldékonyt befolyásolhatja a felületek anyaga és állapota szerint. Az 5. diagram a ${}^{60}\text{Co}$ aktivitását ábrázolja az idő (kampányszám) függvényében úgy, hogy egy évben a hurkokra összegzett pontbeli értékek vannak feltüntetve két blokkra. Egyértelműen látszik a hideg-meleg ági aszimmetria, de a két egységre nézve éppen fordított irányban. Az I. blokk (és a III., IV.) esetén a hideg ágban sokkal nagyobb a felületi szennyezettség, mint a melegben („normális” viselkedés), a II. bloknál viszont éppen fordítva („inverzió”: az aszimmetria aszimmetriája). E markáns eltérést vegyész barátainkkal kezdetben – más jelenségekkel együtt – azzal magyaráztuk, hogy a II. blokk amúgy is „különc” az acél összetétele és/vagy a felületek passzválása szempontjából. Egy évtized alatt a különbség kezdett eltűnni, majd átfordult a korábban normálisnak mondott „hideg > meleg” viszonyba. Már majdnem sikerült megindokolnunk ezt is, amikor az I., majd a III. és IV. blokk kezdett inverziósan viselkedni. Van olyan év, amikor a két ág felületi aktivitása valamelyiknél majdnem egyenlő. Mivel – sokkal fontosabb szempontok miatt – a vízkémia ugyanúgy van beállítva mindegyik egységnél, és üzemviteli rendellenességek nem merülnek fel, így „ártatlan” felületi jelenségre gondolhatunk, amelynek okai egyelőre ismeretlenek.

Részáramú egységek okozta aszimmetria

A 6. ábra mind a 24 (6×4) mérési pont ${}^{60}\text{Co}$ -aktivitását különálló oszloppal mutatja a IV. blokk kampányaira. A „hideg ág / meleg ág > 1” (nagy értékekre!) mindig teljesül, de ezen belül a 3. és 4. pontok felületi aktivitásának aránya eltérően alakul. A következő rendszeresség vehető észre:

a) a 3. pont aktivitása szignifikánsan *kisebb*, mint a 4. ponté az 1., 2. és 6. hurokban;

b) a 3. pont aktivitása szignifikánsan *nagyobb* a 4. pontbelinél a 3., 4. és 5. hurokban.

A magyarázatot a 2. ábra adhatja: a részáramú berendezések részére a fővízkörből a főkeringtető szivattyú után, a 4. pont (főelzáró tolózár) előtti elágazásból történik a vízkivétel, míg a visszatáplálást a szivattyú előtt, a 3. pontnál végzik. Az a) esetben az anion- és kationcserélő oszlopok és a bór-adagoló, a b)-nél pedig a kevertágyas ioncserélő és a pótvíz hatásainak eltéréseit feltételez-

hetjük. Mindenesetre, 5-10 éves állandósággal ugyanaz a kép látszik, tehát nem a leállások során végzett mérések alatti állapot tükröződik a fenti szisztematikában, hanem a felületen valahogyan kialakult rétegek stabilitása.

A $^{58}\text{Co}/^{60}\text{Co}$ aktivitásarány, azaz a Ni/Co korrózió viszonya a 6. eloszláshoz hasonló aszimmetriát mutat.

Üzemzavarok észlelése, előrejelzése

A működés alatti hibákra – az in-situ módszer sajátosságai miatt – csak a leállás után lehet következtetni. A méréseket hosszabb időn át végezve viszont lehetőség van hibakeresésre és a következő kampány végén a beavatkozásra.

A *pótvíz oxigénmentesítése* hibájának a ^{59}Fe aktivitására gyakorolt hatását mutatja a 7. ábra. A *Részáramú egységek okozta aszimmetria* alfejezetben tárgyaltakhoz hasonló elemzéssel a 3., 4., 5. hurkok 4. pontjai kiugró aktivitásának okát a részáramú pótvízrendszer és a kevertágyas ioncserélő működésében kell keresnünk. Mivel az 1., 2., 6. hurkok másik részáramú berendezéshez tartozó pontjai nincsenek érintve, így a vízben oldott oxigén – elégtelen szűrés miatti – korróziónövelő hatása („extra korrózió”) feltételezhető.

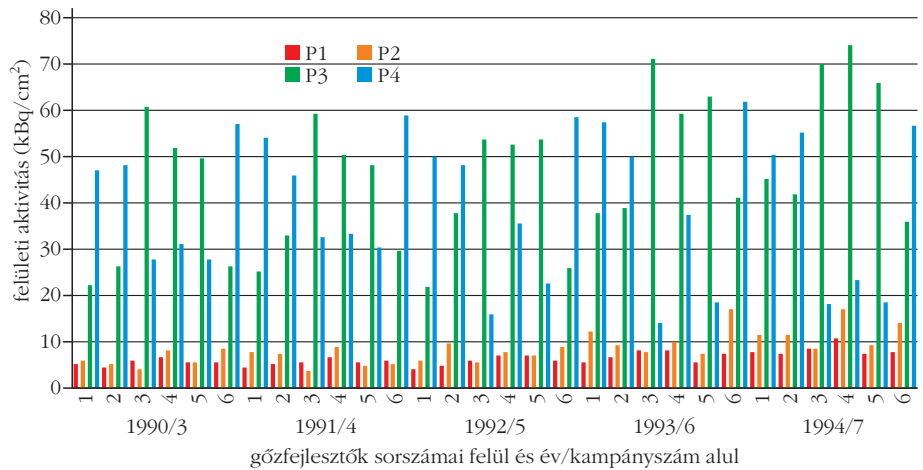
Évek múlva, az egyik főjavításnál, a főkeringtető szivattyúk megbontásával elérhetővé vált a 4. pontok környezete és a hurkok belső falán a feltételezés vizuálisan megerősítést nyert.

A *primer körbe került idegen anyag* ^{59}Fe – ^{54}Mn és a nikkelt jellemző ^{58}Co aránya nem egyezett a korábbiakkal, amiből a II. blokk üzemzavarának módjára lehetett következtetni.

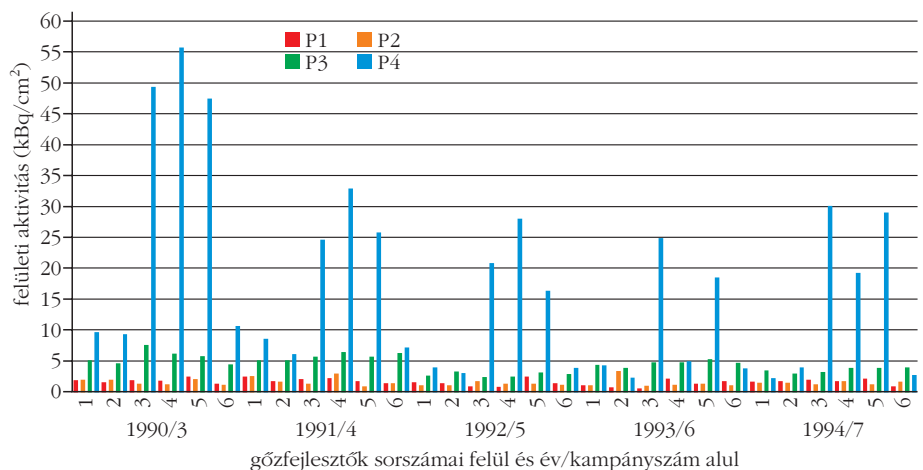
A 2003. évi súlyos üzemzavarhoz vezető, *nem megfelelő dekontaminálás miatti nagyléptékű korróziót* az I. blokk 2002. évi leállításánál az in-situ gamma-spektrometria kimutatta. Az ismert történet szerint [2] a fűtőelemek felülete annyira elszennyeződött, hogy az újraindított reaktort 3 hónap után le kellett állítani és töltetcserét kellett végrehajtani.

Pótvízrendszerbeli korróziótermékek analízise

2012/2013-ban, illetve 2015/2016-ban az I. és IV. blokk pótvízrendszerén végeztünk méréseket. A leg-



6. ábra. A ^{60}Co felületi aktivitása a IV. blokk primer körüli P1–P4 pontjaiban.



7. ábra. A IV. blokk primer körüli P1–P4 pontjaiban a ^{59}Fe nuklid mért felületi aktivitásai.

nagyobb felületi aktivitást az $^{110\text{m}}\text{Ag}$ izotóp adta 50–200 kBq/cm² értékben a csőhálózat mérési helyétől függően. A mérési sorozat értelme az ezüst nagy aktivitása okának kiderítése volt. A hurkokon korábban nem észlelt izotópok is megjelentek: ^{24}Na , ^7Be .

Különleges feladatok

Az in-situ gamma-spektrometriát a francia, német, angol erőművekben a 70-es, 80-as években kezdték alkalmazni. Hazai felhasználásra – a paksi kollégák javaslatára – ezek alapján dolgoztuk ki és alkalmazzuk ma is a Debreceni Egyetem szervezésében. Később igény mutatkozott külföldi mérésekre, gyors reagálású beavatkozásokra. Ezekhez szükség volt egy rugalmasabb szervezeti formát létrehozni. A mai Quantechнологies Kutatási és Fejlesztési kft. az Egyetemmel szerződéses viszonyban létrehozta a Nukleáris Biztonsági és Technikai Laboratóriumot a speciális igényű feladatok megoldására: külföldi mérések, itthoni különleges fejlesztések, adatfeldolgozás, komplex munkák.

Az *ittthoni rutintechnikát Németországban alkalmaztuk* meghívás alapján a 90-es évek közepén, há-

rom kampányt követő mérésre az azóta leállított, 1225 MWe teljesítményű Biblis-A erőműben. A Paksi Atomerőművel összehasonlítva jó érzéssel mondhatjuk, hogy az atomenergetikai kultúra, a nukleáris biztonság tekintetében nincs különbség a két ország között. A primer körüli felületi aktivitások, dózisteljesítmény a paksihoz viszonyítva – az eltérő anyagösszetétel miatt – 3–4-szeres volt.

A paksi 2003. évi súlyos üzemzavar elbárításában alapvető feladatunk a fűtőelemek dehermetizációjának következtében kiszabadult hasadási termékek megkeresése, felületi aktivitásának meghatározása, az 1. akna falának vizsgálata, a dekontaminálás előkészítése és detektoros ellenőrzése volt. Ehhez a nagy hatásfokú „clover” spektrométert is igénybe vettük, amely négy darab 100 cm³-es HpGe-detektort tartalmazott. Bevezettük a – maga nemében – nagy térfogatú (2,25 cm³) CdZnTe (CZT) gamma-spektrométer alkalmazását.

Legnagyobb fejlesztésünk a víz alatti gamma-spektrometria volt a 10 és 100 cm³-es detektorokhoz, valamint a CZT-hez. A transzuránok alfa-spektrometriai vizsgálatára olyan módszert hoztunk létre, amely vákuumkamra nélküli in-situ vizsgálatokat tett lehetővé.

A két kiépítés nagyaktivitású bulladékokat tartalmazó kútjainak feltárására olyan technikát fejlesztettünk, amellyel meg lehetett állapítani a 8 m mély csövekben tárolt radioaktív anyagok összetételét és aktivitását, őket dózisteljesítmény szerint szét lehetett válogatni.

A FIZIKA TANÍTÁSA

NEHÉZSÉGI GYORSULÁS ÉRTÉKÉNEK MEGHATÁROZÁSA, NAPELEMCELLA VIZSGÁLATA

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a National Instruments (NI Hungary Kft.) által kiírt pályázaton az NI myDAQ mérőeszköz és a hozzá tartozó LabVIEW szoftver segítségével kellett olyan fizikai kísérleteket megvalósítani, amelyek az iskolai oktatásban is felhasználhatók. Mi nem rendelkezünk ilyen eszközzel, de a pályázatra való jelentkezés után iskolánk kölcsönszerződéssel kapott egyet a hozzá tartozó szenzorkészlettel és szoftverrel. Pályamunkánkban három olyan kísérletet dolgoztunk ki, amelyek a fizika érettségi vizsgán is szerepelnek.

A pályázatra két tanulóból és egy fizikatanárból álló három fős csapattal lehetett nevezni. Csapatom

Összefoglalás, kitekintés

Az atomerőművek primer körében keletkező korróziótermékek felületi aktivitását 33(!) éve rutinszerűen mérjük Pakson. Különböző feladatok rugalmas kezelése csak folyamatos kutatás-fejlesztés-innováció révén vált lehetővé. Méréseinkkel a világon egyedülálló adathalmaz keletkezett, amely részletes feldolgozás esetén lehetővé teszi a primer körüli felületek tulajdonságainak rövid és hosszú távú előrejelzését, az üzemidő-hosszabbítás megalapozását és ellenőrzését. A kísérleti technika és kiértékelési eljárások segíthetik a tervezett Paks2 blokkok működtetését, növelhetik biztonságát. Előzetes terveket készítettünk a felkészülésre, amelyek a jövő szakembereinek képzését is tartalmazzák.

Köszönetnyilvánítás

A fenti kutatások és eredményeik nem jöhettek volna létre a Paksi Atomerőmű több évtizedes sokoldalú segítségével, a Vegyészeti Osztály és a kapcsolódó szervezetek munkatársainak a biztonság érdekében folytatott tevékenysége, a feladatok megoldásához igényelt állandó közös gondolkodás kölcsönös igénye nélkül.

Irodalom

1. Csom Gy.: *Atomerőművek üzemtana, I. kötet: A reaktorfizika és technika alapjai*. Műegyetemi Kiadó, Budapest (1997).
2. Szatmáry Z.: Súlyos üzemzavar a Paksi Atomerőműben. *Fizikai Szemle* 53/8 (2003) 266–271.
3. Csom Gy. (szerk.): *Atomerőművek üzemtana II.: Az energetikai atomreaktorok üzemtana*. Műegyetemi Kiadó, Budapest (2005).
4. V. V. Geraszimov, A. J. Kaszparovics, O. J. Martinova: *Atomerőművek vízüzeme*. Műszaki Kiadó, Budapest (1981).
5. www.atomeromu.hu/hu/rolunk/Technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx

Kántor Balázs, Kelkó Balázs, Lányi Zsófia
Komáromi Jókai Mór Gimnázium

diákjai már három éve indulnak az NI által szervezett VISUAL Thinking LabVIEW programozási versenyen, és ennek során kerültek kapcsolatba a myDAQ mérőeszközzel. Erre a pályázatra is a diákok beszéltek rá, mert a versenyhez való felkészüléshez jól jött, hogy előben is használhattuk az eszközt. Ezen kívül szeretnénk volna kipróbálni, hogy az iskolában fizikaórákon vagy szakkörön, miként vehetjük hasznát egy ilyen mérőműszernek. Pályázatunkkal 2. díjat nyertünk, ami azt jelenti, hogy a pénzjutalom mellett tárgyjutalomként megtarthatjuk a myDAQ mérőeszközt. A díjátadóra Debrecenben, a Science on Stage fesztiválon került sor, ahol a feszt