

2014.

VII. ÉVFOLYAM, KÜLÖNSZÁM

NUKLEON

NUKLEÁRIS TUDOMÁNYOS MŰSZAKI FOLYÓIRAT



WWW.NUKLEARIS.HU

MEGJELENIK A MAGYAR NUKLEÁRIS TÁRSASÁG GONDOZÁSÁBAN

NUKLEON

NUKLEÁRIS TUDOMÁNYOS MŰSZAKI FOLYÓIRAT

Főszerkesztő:

Radnóti Katalin

Szerkesztőbizottság:

Barnaföldi Gergely Gábor

Cserhádi András

Czibolya László

Hadnagy Lajos

Kocsis Gábor

Neubauer István

Nős Bálint

Pázmándi Tamás

Radnóti Katalin

Yamaji Bogdán

Szerkesztőség:

Postacím:

Magyar Nukleáris Társaság

Somfai Barbara titkár

MTA EK

1525 Budapest Pf. 49.

Telefon: 36-1-392-2222/3445

Fax: 36-1-395-9293

e-mail:

szerkeszto@nuklearis.hu

foszerkeszto@nuklearis.hu

Olvasószerkesztő:

Hanti Ágota

Technikai szerkesztő:

Horváth András

Címlapkép:

Szatmáry Zoltán

Fényképek:

Aszódi Attila: 21. old.

Fehér Sándor: címlap, 7., 10.,

14., 19., 24. és 25. old.

KFKI AEKI archívum: 17. old.

(Vidovszky István jóvoltából)

Kiadja a

Magyar Nukleáris Társaság

Felelős kiadó:

Hózer Zoltán

Hirdetésfelvétel:

hirdetes@nuklearis.hu

ISSN: 1789-9613 (webes)

ISSN: 2064-6607 (nyomtatott)

Idén májusban ünnepli 75. születésnapját Szatmáry Zoltán professzor. Ebből az alkalomból készítettük el különszámunkat Makai Mihály vendégszerkesztő közreműködésével.

Tartalom

	<i>Oldalszám</i>
1 <i>Makai Mihály</i> Bevezetés	3
2 Szatmáry Zoltán szakmai életrajza	4
3 Nyílt levelek Szatmáry Zoltánhoz	5
4 <i>Lux Iván</i> Zoli professzor Úr	6
5 <i>Nemes Imre</i> Találkozások Szatmáry Zoltánnal	8
6 <i>Koblinger László</i> Adalékok Szatmáry Zoltán portréjához	9
7 <i>Gadó János</i> Szatmáry Zoltán és a reaktorszámítások	11
8 <i>Makai Mihály</i> A nodális módszer titkai	13
9 <i>Vidovszky István</i> Az RFIT születése	15
10 <i>Keresztúri András</i> Számítások és mérések egységes kezelése a reaktorfizika területén	18
11 <i>Aszódi Attila</i> Szatmáry Zoltán, a Műegyetem professzora	20
12 <i>Kis Dániel Péter</i> Szatmáry Zoltán egy hallgató és kolléga szemével	22

Bevezetés

Makai Mihály

A magyar reaktorfizika egyik kiemelkedő egyénisége, Dr. Szatmáry Zoltán egyetemi tanár, az MTA doktora májusban ünnepli 75.-ik születésnapját. Ebből az alkalomból a NUKLEON egy különszámot állított össze, ahol Szatmáry Zoltán kollégái, barátai és tisztelői köszöntik őt – ki-ki a maga módján – az ünnepi alkalomból.

Az ünnepelt szakmai életrajzát külön közöljük, amelyből kitűnik sokoldalú tevékenysége. Nincs a magyar atomenergia rövid történetében olyan terület, amelyhez az ünnepelt ne járult volna hozzá munkájával.

Hosszú ideig dolgozott kutatóintézetben, először kutatóként, majd vezetőként. Már igazgató volt, amikor még mindig dolgozott aktuális problémákon. Kutatóként elsősorban széleskörű matematikai ismeretei, ötletei keltettek figyelmet.

Ugyanakkor kísérletezőként is elismert volt. A VVER reaktortípushoz kapcsolódó kísérletek nemzetközi együttműködésben (röviden ZR-6 név alatt ismert, de orosz rövidítése után VMK-nak, később az angol rövidítés után TIC-nek is nevezték) folytak húsz éven át. Az együttműködést ugyan formailag egy Tudományos Tanács vezette, de közzismert volt, hogy a kutatási programot nagyrészt az ünnepelt elképzelései szerint állították össze. A mérési eredmények tárolási módja, a mérések feldolgozásához szükséges programok, a zónaszámító programok eredményének és a mérési eredmények elemzésének eszközei és módszerei jórészt az ünnepelt munkáját őrzik.

A Budapesti Műszaki Egyetem vezetése szerepet szánt a nukleáris ismeretek oktatásának, ennek elősegítésére létrehozták a Tanreaktort. A Tanreaktor tervezésében a KFKI-ban működő kutatórektor munkatársai vettek részt, így az ünnepelt is.

Ne feledkezzünk el azonban a zónaszámításra kidolgozott programokról sem! A hetvenes évek magyarországi számítástechnikája mellett kellett a tekintélyes erőfeszítést igénylő programfejlesztéshez hozzájárítani. Néhány programnév a KFKI-ban adaptált vagy kifejlesztett programokból: GRACE, THERMOS, RAM, BETTY, RIFFRAFF, CATHY, SISYPHUS, FEDGROUP. A programokat a ZR-6 keretein belül tesztelték, a tesztelésben a ZR-6 kísérleti eredményeknek is jelentős szerep jutott.

A reaktorfizikában Magyarországon új fejezet nyílt a Paksi Atomerőmű megépítése után. Ki kellett elégíteni az erőmű igényét is: a zónatervezéshez a szállító a BIPR programot ajánlotta, de a zónamonitorozásra és a reaktorszimulációra új eszközöket kellett létrehozni. Mindkét projekt sikeresen befejeződött, a zónamonitorozásra létrejött a VERONA rendszer, a szimulátor szoftver nem kapott nevet, csak szimulátorként emlegetik.

A nyolcvanas évek végétől az ünnepelt a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) Nukleáris Technikai Intézetében (NTI) folytatta munkáját egyetemi oktatóként, intézetigazgatóként. Megírta az első magyar nyelvű reaktorfizika tankönyvet, amelyet a felsőoktatásban mind a mai napig használnak. Az oktatásba új tárgyakat hozott: Mérésiértékelés című jegyzete és azonos című előadása sok diákot vonzott, bár páran megjegyezték: „Professzor úr, a négy kreditponthoz képest túl sok a mátrix!” A Reaktorfizikai számítások, a Reaktorfizikai példatár még készül. Az NTI-ben szükségessé vált az Oktatóreaktor időszakos biztonsági felülvizsgálata. A BME NTI csapata a munkát az ünnepelt vezetésével sikeresen elvégezte bizonyítva, hogy kitanulta a biztonsági elemzés készítését is.

Felismerete, hogy a működő erőmű szükségessé teszi az atomenergiával foglalkozó dolgozók szélesebb szakmai szervezetének kialakítását. 1990-ben létrehozta a Magyar Nukleáris Társaságot, amelynek első elnöke volt. Emellett részt vett az erőmű tudományos tanácsának és az Országos Atomenergia Hivatal tudományos tanácsának munkájában is.

Több alkalommal dolgozott külföldön a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakértőjeként, vagy meghívott kutatóként. Ebben nagy szerepet játszott közvetlensége, jó nyelvérzéke.

Számtalan diák, kolléga útját egyengette, ahogyan az a következő lapokon olvasható. Ez a kiadvány tisztelegni kíván Dr. Szatmáry Zoltán, az MTA doktora, egyetemi tanár több évtizedes munkássága előtt.

Boldog Születésnapot Kíván

Makai Mihály

Szatmáry Zoltán szakmai életrajza

Születés: Budapest, 1939. május 2.

Iskolai végzettség: Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, fizikus szak, 1962.

Tudományos fokozat: fizikai tudomány kandidátusa: 1978, fizikai tudomány doktora: 1987

Nyelvvizsgák: német (felső), francia (felső), angol (közép), orosz (felső), spanyol (felső)

Jelenlegi beosztás: egyetemi tanár

Korábbi beosztások: BME Nukleáris Technikai Intézet igazgatója (1993/2004)

KFKI mb. főigazgató (1990)

KFKI AEKI igazgató (1989)

KFKI főigazgató-helyettes (1988/1989)

KFKI AEKI igazgatóhelyettes (1980/1987)

KFKI Reaktorfizikai Osztály vezetője (1976/1979)

tudományos munkatárs KFKI-ban (1962/1975)

Külföldi munkavállalások: CEN de Saclay (Franciaország), 8 hónap 1970-ben,

CEN de Cadarache (Franciaország), 2 év 1991/1993-ban,

INVAP Bariloche, Argentina (1997)

Kitüntetések: Akadémiai Díj: 1974

Állami Díj: 1978

Szilárd Leó Díj: 1994

Honorary Fellow (Európai Nukleáris Társaság): 1994

Wigner Jenő díj: 1998

Apáczai Csere János díj: 2003

Gyimesi Zoltán díj: 2007

Szakmai tevékenység: - reaktorfizikai kísérletek a ZR-2 és ZR-4 kritikus rendszereken,

- máig használatos reaktorszámító programok kidolgozása és tesztelése,

- a ZR-3 modellreaktoron (a KFKI kutatóreaktor modelljén) folyó mérések és számítások irányítása,

- részvétel a SZEVER-2 kisatomerőmű tervezésében,

- a VVER típusú reaktorokra vonatkozó nemzetközi kutatókollektíva munkájának (ZR-6 célprogram) tudományos irányítása (1972/1988),

- VVER-típusú atomerőművek üzemi adatainak rendszerezése,

- a ZR-6 programon belül végzett mérések eredményeinek a kiértékelése és értelmezése, számos új számítógépi program kidolgozása,

- ismételt szakértői tevékenység a NAÜ számára (Peru, Kuba, Irán),

- BME oktatóreaktor fizikai problémái és biztonsága,

- új módszer kidolgozása a technológiai bizonytalanságok figyelembevételére.

Publikációk száma: 120 felett.

Szakmai közéleti tevékenység: MTA Fiz. Tud. Oszt. Doktori Bizottság (1998–2002)

PA Rt igazgatóság tagja (1995/1996 és 1998/2001)

MTA Fizikai Bizottság, a III. és VI. osztály tagja (1985/1991)

OAB MTT tagja (1980/1990), elnöke (1994-)

Nukleáris Baleset-elhárítási Kormánybizottság MTT elnöke (1994–1998)

A Magyar Nukleáris Társaság alapító elnöke (1990 és 1994/97)

Új energiaforrások kutatása (KKP-4) célprogram koordinátora (1981/1985)

Oktatási tevékenység: Reaktorfizika (ELTE fizikus 1986-90; BME 1994-), Reaktorfizika (BME mérnök-fizikus, 1994-)

Méréskiértékelés I. (BME 1994-) Bevezetés a mérések kiértékelésébe (BME mérnök-fizikus, 1999-)

Kísérleti magfizika (megosztva, BME 1995-) Reaktorfizikai számítások (BME 1997-)

Speciális technikák (BME Fordító- és tolmácsképző, 1998-)

Nyílt levelek Szatmáry Zoltánhoz

Kedves Zoltán!

Nemrég egyik egyetemi kollégád hívta fel a figyelmemet arra, hogy idén töltöd be a 75. életévedet. Alig akartam elhinni, mivel megjelenésed, aktivitásod, energikus megnyilvánulásaid alapján jóval fiatalabbnak tűnsz korodnál. Magamból kiindulva - 70 felé közeledve - persze tudom, hogy ebben az örökölt géneknek is nagy szerepe van, mindenesetre ez egy járulékos ajándék az ősöktől.

Ebből az alkalomból hadd gratuláljak és engeddd meg, hogy néhány mozzanatot felidézzek kapcsolatunkból, amely kapcsolat - eltérő végzettségünk és érdeklődési körünk miatt - sohasem közös szakmai tevékenységünkön alapult, hanem sokkal inkább egymás munkájának és eredményeinek kölcsönös tiszteletén és elismerésén.

Első találkozásunk a 70-es évek elején a KFKI AEKI-ben volt, amikor Te már tapasztalt tudományos munkatársként reaktorfizikai kérdésekkel foglalkoztál, én pedig nemrég végzett villamosmérnökként és VEIKI alkalmazottként egyéves tanulmányúton voltam nálatok a kutatóreaktor üzemeltetési és számítógépes irányítási gyakorlatának megismerése, burkoltan a paksi blokkok létesítésére való felkészülés céljából. A szakmai témáink különbözősége miatt kapcsolatunk akkor nem terjedt egymás megismerésén túlra.

Annál szorosabbnak éreztem kapcsolatunkat a Magyar Nukleáris Társaság keretében végzett közös munkánk során. Emlékszem, hogy milyen lelkesedéssel támogattuk 1990-ben az MNT megalapítását és választottunk meg az MNT első elnökének, majd ismételtük ezt meg Cadarache-ból hazatérésed után 1994-ben. Az elnökség tagjaként akkor tapasztaltam meg vezetői képességedet és kompromisszumkészségedet. Ma is büszke vagyok arra, hogy jó pár évvel később, azaz 2013 januárjában - az MNT akkori elnökéként - én adhattam át az MNT által akkor alapított és elsőként neked odaítélt tiszteletbeli elnöki oklevelet. Ne feledd, hogy ez a szakmai közösségért végzett munkád elismerésén túl lehetőséget ad számodra a tapasztalataid felhasználásán keresztül az elnökség munkájának mindenkori segítésére!

Személyes kapcsolatunk fenntartását támogatta az OAB/OAH Műszaki Tudományos Tanácsában hosszú éveken keresztül közös tagságunk is. Ugyanakkor erre az időszakra esik az általam érzékelt első és egyetlen szemléletbeli különbözőségünk, amely a paksi atomerőműbeli üzemzavar korai értékelése körül alakult ki. Te ugyanis az adott helyzet további súlyosbodásának lehetőségét hangsúlyoztad, én viszont ennek esélyét kisebb mértékűnek ítéltem meg. Szerencsére a helyreállítást végző hazai és orosz szakemberek ettől függetlenül a feladatukat sikerrel oldották meg.

Legutóbb talán a paksi atomerőmű bővítését, kapacitás-fenntartását segítő, előkészítő feladatok megoldása során találkoztunk. Ezúttal a kötelezettségünket az effektív munkavégzés helyett egyre inkább az ismereteink, tapasztalataink átadása jelentette a fiatalabb kollégák munkájának véleményezésén keresztül. Az új blokkok előkészítése szempontjából napjainkban egyre fontosabb a hazai szakemberek oktatása, képzése a létesítéshez és majd az üzemeltetéshez szükséges ismeretek megszerzése érdekében - remélhetőleg ebben a munkában még továbbra is részt veszel!

Kedves Zoltán!

A leírtakon túlmenően is szakmai múltunk több ponton érintkezett, amely kapcsolódások által feljogosítva ezúton is kívánok neked 75. születésnapod alkalmából jó egészséget és aktívan töltött szép kort!

Üdvözlettel: Holló Előd

Szatmáry Zolit személyesen az egyetemen ismertem meg. Nem személyesen - látásból, még középiskolás koromban - a Matematikai Lapokból. Mint sikeres feladatmegoldónak egymás mellett volt a fényképünk.

A KFKI reaktorfizikai osztályán, főosztályán, az Atomenergia Kutató Intézetben végképp összekerültünk. Valamikor a 60-as évek végén hozott Bécsből egy mágnesszalagot. A mágnesszalagon nukleáris adatok, hatáskeresztmetszetek voltak. Azt ajánlotta nekem, hogy foglalkozzak ezekkel. Így tettem és ezzel több évtizedes tevékenységem alapja teremtődött meg. Itt mutatkozott meg Zoli legértékesebb tulajdonsága: mindig meg tudta mutatni azt az irányt, amerre el kell indulni, hogy értékes eredményt érjünk el.

Zoli! A 75.-dik születésnapod alkalmából kívánom, hogy jó egészségben még több tudós palántát nevelj fel.

Üdvözlettel: Vértés Péter

Zoli professzor Úr

Lux Iván

Nemzetközi Atomenergia Ügynökség

Wagramer Strasse 5, P.O.Box 100, A-1400, Bécs, Ausztria

Ha az utóbbi ötven évben bármikor kiírták volna a „Kit tud többet Magyarországon a reaktorfizikáról?” vetélkedőt, egészen biztosan Szatmáry Zoltánt hirdették volna győztesként (és valószínűleg a dobogó többi helyén is ő végzett volna). Hasonló a helyzet a valószínűségelmélet és a statisztikai matematikai alapú méréskiértékelés tudományával, senkivel nem találkoztam, aki jobban és mélyebben ismerné ezt a kísérleti fizikusok számára alapvető diszciplínát, mint ő. A dolgot végképpen utánozhatatlanná teszi, hogy Zoli tudja, csinálja, tanítja. Kutatók sora indult el és ért el jelentős sikereket vezetése alatt, módszereket és kódokat fejlesztett, amelyek ma is a reaktorfizikai számítási apparátus alapvető kellékei és diákok évfolyamai bámulták (vagy rettegtek) fölényes, szerteágazó tudását. A két témakörben készített egyetemi jegyzetei a szakmában magukat valakiknek tartó valakik számára is lenyűgözően átfogóak és mégis részletesek és érthetőek.

Ha szabad itt felelgetni néhány személyes kis színt Zoliról: történetesen jó barátom volt Zoli menyasszonyának egyik csoporttársa. Ő mesélte, hogy az egész csoport sietett segíteni Évának, nehogy már szégyenben maradjon egy ilyen okos fiú előtt. A perui ösztöndíja során a világ másik feléből érkeztek hírek a nagy fehér varázsló csodás tetteiről és a CERN-beli tevékenysége kapcsán a francia kollégák is csak meresztették szemüket a méréskiértékelés általuk soha nem látott csodái okán. De szintén közös ismerősünk mesélte azt is, hogy egy társasutazáson, ahol az ismerős volt az idegenvezető és Zoliék utasok, egy idő után akár fordítottnak is tűnhetett a helyzet.

Magam abban a szerencsében és megtiszteltetésben részesülhettem, hogy pályámat Zoli vezetése alatt kezdhettem és folytathattam 25 éven át. Doktori ösztöndíjasként témavezetőm volt, kandidátusi értekezésemben házi opponens és szakmai (nem kevésbé nyelvi – a nyelvhelyesség számomra is nagyon fontos, de Zoli ebben is professzori) etalon. A „doktori cselekményeket” megalapozó publikációim rendszeres bírálója, mindezek következtében köszönet-nyilvánításaim leggyakrabban visszatérő alanya is. Ennek ellenére egyetlen, csak a kettőnk neve alatt megjelent publikációnk van. (Egy zárójelet megérdemel ez is, hiszen abban az időben, amikor vezetése alatt dolgozhattam, sokat publikáltam nemzetközi folyóiratokban, de ellentétben sok más témavezetővel, ebből nem keletkeztek társszerzőségi elvárásai, ez a kérdés egyszerűen szóba sem került. Ecce homo.) A közös cikk: *I. Lux and Z. Szatmáry: Combined Estimation of a Common Mean from Few Sample Sets and from Sample Sets of Rare Events, Nucl. Sci. Eng., 89, 137-149 (1985)*. Címének megfelelően arról szól, hogy miként lehet torzítatlan becslést adni olyan adatsorok átlagára és szórására, amelyek statisztikai értelemben kevés információt szolgáltatnak vagy

azért, mert számuk kicsi, vagy azért, mert csak ritkán előforduló eseményekre vonatkoznak, amikor is a mért értékek többsége nulla és csak kevés valódi értéket mérünk. A vonatkozó formulákkal ezúttal nem nehezíteném az olvasó dolgát, az érdeklődők a hivatkozás alapján könnyedén megtalálják az eredeti cikket. Itt az eredmények egy részének vázlatos ismertetése után ezek egy egyszerű, lehetséges és időszerű következményét mutatom meg.

Előljáróban érdemes megemlíteni, hogy a cikkben azt írtuk, hogy a ritkaság figyelembe nem vétele a becslésekben katasztrofális eredményekre vezethet. A cikket magát is csak, mint a katasztrófaelmélet-cikket emlegettük magunk között. A ritka eseményekről szólva a cikk torzítatlan becslést ad a csak a valódi eseményekből származtatható átlagértékre és szórásra és megmutatja azt is, hogy míg e valódi szórás (állandó várható érték feltételezése mellett) az esemény-előfordulási valószínűség csökkenésével végtelenhez tart, addig a ritkaságot figyelembe nem vevő maximum likelihood szórásbecslés véges marad. (E határesetek bemutatásához nem lett volna szükség egy egész hosszú cikkre, az idézett eredmények heurisztikusan is magától értetődőek, ennek belátását a jelen cikk által adottnál nagyobb szellemi kihívásokra vágyó olvasóra bízom.)

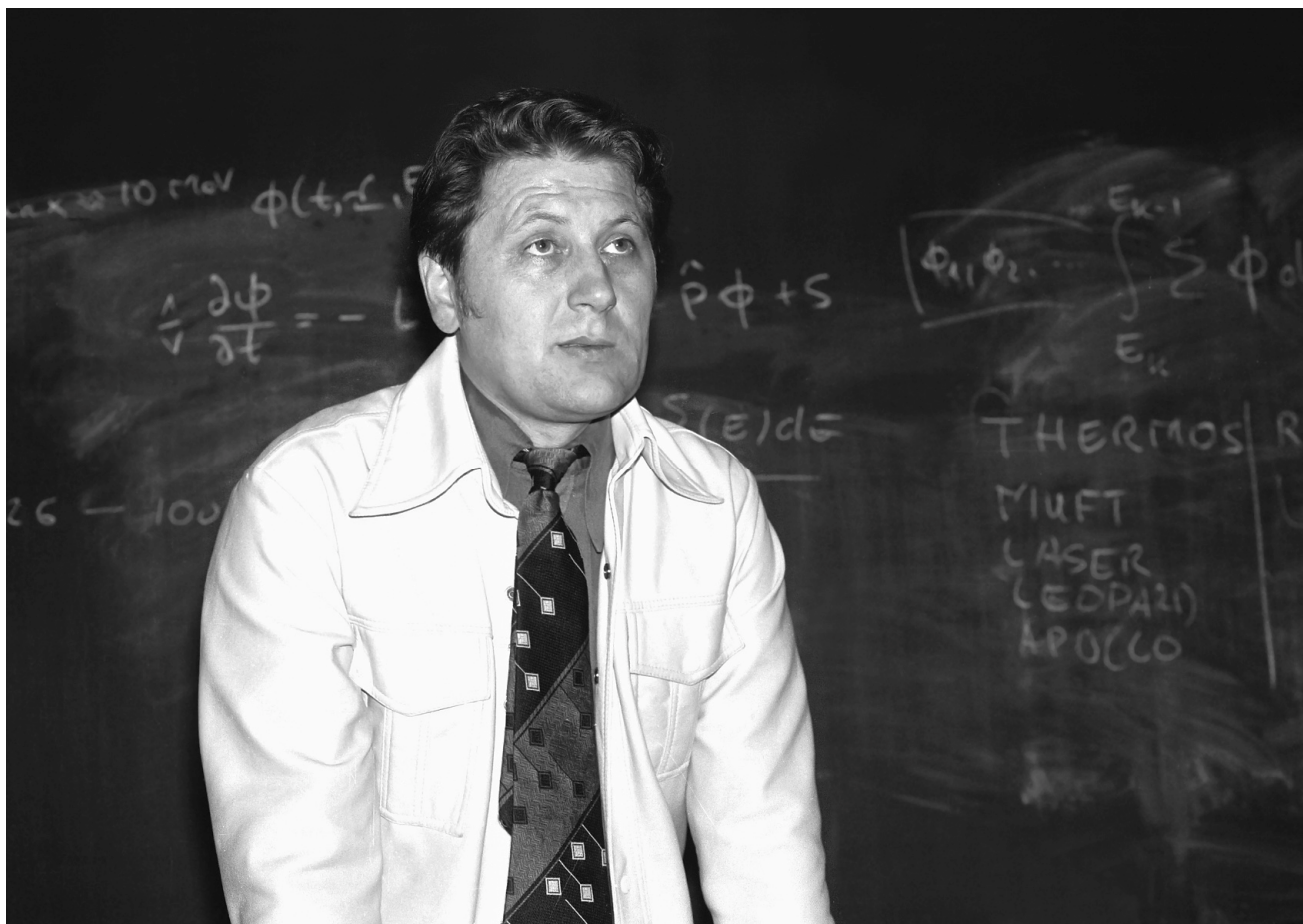
Most egy pillanatra helyezkedjünk bele annak a mérnöknek a gondolatvilágába, aki feladatul kapta a fukushimai atomerőmű szökőárvédelmének újratervelését. (Ilyen volt.) Egy lehetséges gondolatmenet volt számára meghatározni a korábban előfordult szökőárak magasságának átlagát és szórását, majd a matematikai statisztika alapjaira hivatkozva javasolni, hogy a védőgát magassága legyen az átlag plusz két (vagy három) szigma (az elvárt konfidenciaszinttől függően). Kolléga úr veszi a történelmi adatokat átlagol és négyzetesen átlagol, és már lehet is emelni a gátat – a katasztrófaelmélet figyelembe vétele nélkül, tehát túl alacsonyra, hiszen a szórást alulbecsülte. Mert hogyan is gondolkodik egy olyan mérnök, aki már olvasta a fent idézett cikket? Tudja, hogy a szökőárak nagyon kivételes esetekben igen magasak is lehetnek (érdekes módon a fukushimait megelőző hasonló magasságú nem Japánban, hanem Chilében volt). A statisztikai becslést tehát az átlagot jelentősen meghaladó, ezért nagyon ritka szökőárakra készíti, azokat tekinti eseményeknek, az átlag körülieket a zajnak. Ennek megfelelően számolja ki a szórást, ami az idézett cikk eredményei szerint várhatóan lényegesen nagyobb lesz, mint a ritka eseményekkel nem számoló esetben, tehát a katasztrófaelméletre is tekintettel lévő becslés magasabb védőgátra vezet. Mondhatnám tehát, hogy így Zolival kettesben majdhogynem megmentettük Fukushima Dai-ichit, de a kötelező szerénység okán ezt nem mondom.

Bár szakmai életútjaink az AEKI-s évek után szervezetenként elváltak, különféle bizottságokban és Doktori Tanácsokban rendszeres lehetőség volt munkáját követni, és gondolatainkat kicserélni. Bizton állíthatom, hogy kevés hasonlóan széles látókörű, élénk, friss és alkotó elméjű tudós futkározik körülöttünk, jó lenne, ha Zoli továbbra is

részletetne bennünket töretlen szellemi frissességének újabb eredményeiből.

Hálás vagyok e különszám létrehozóinak azért, hogy gondolataimat Zoli munkásságáról összeszedhettem és tiszteletem jeléül megírhattam.

Bis hundertzwanzig, Zoli professor!



NAÜ kurzuson a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (1983)

Találkozások Szatmáry Zoltánnal

Nemes Imre

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

Diákként

Az 1970-es évek végén, a 80-asok elején az egyetemisták szabad, kevés felelősséggel járó életét éltem éppen, az ELTE fizikus szakos hallgatójaként. Kötelező viselet volt a farmer, fölötté bársonyig lígve-lógva a nadrágon kívül, alföldi papucs, spirálfüzet vászontarisznyában. Már a negyedik évfolyamot nyújtam, Pakson javában nőttek ki a blokkok a földből, Marx György tanár úr Tibi csokival jutalmazta a jól feltett kérdéseket Kvantummechanika előadáson, valamint a programozható PTK kalkulátort tesztelte rajtunk. Más is eszébe jutott azonban, éppen a paksi építés kapcsán: a fizikus szakon különböző szakirányok indultak három félév erejéig, többek között atomfizika-reaktorfizika szakirány is. Méréseket végeztünk a BME tanreaktornál, a KFKI-ba jártunk sugárvédelmet, izotóptechnikát tanulni, a Puskin utcai egyik előadóban pedig hetente egyszer két óra erejéig megjelent egy erőteljes, karizmatikus figura: Szatmáry tanár úr.

Megnyerő magabiztossággal vezetett be bennünket a reaktorfizika rejtelméibe, és ami különösen szimpatikus tette akkor: előadásainak fénymásolt változatát osztotta ki minden órán, ami akkoriban kincset ért a mezei egyetemista számára.

Én a diplomamunkámat a BME-n írtam, az ott kötelező Lévai Atomtechnika kötetek még a reaktor elméletének egy régebbi, főként egyszerűsítésekre, kísérleti alapokra helyezett szemléletét mutatták, néha Szatmáry tanár úr igazított el, hogy is jönnek össze ezek az eszmék a reaktorfizika előadáson hallottakkal.

Ifjú szakemberként

5-6-8 éves szakmai gyakorlattal a 80-as évek végén, a 90-esek elején próbálgattam először önálló munkákkal, előadásokkal megjelenni nemzetközi szakmai fórumokon, amire jó alkalmat nyújtottak a VVER-ek fizikájával foglalkozó AER szimpóziumok. Siófokon, 89-ben vagy 90-ben merészkedtem előjönni először egy angol nyelvű előadással. Kissé gyorsabban dobogó szívvel, picit elszoruló torokkal adtam elő első önálló munkáinkat. Szatmáry Zoltán – aki az akkori szimpózium egyik fő szervezője lehetett – az előadás után szép csendben, hogy csak ketten halljuk, odasúgott valami ilyesmit: jó volt, szuper volt...

Dobogókó, pár év múlva, az előadásom után a szünetben: a tied volt az egyetlen eddig, amit érteni is lehetett...

Szozopol, Bulgária, 90-es évek közepe, viszontagságos utazás, szerény körülmények, viharos idő, néhány fizikus kóvályog az estében a reménytelen, kihalt tengerparton, ott messze mintha valami világítana, lepusztult kiskocsmá, benne két vendég, kedélyesen iszogatva a helybeli egyetlen kapható

fajta sört: Szatmáry Zoli és Gyurkócsa Csaba. Rögtön csatlakoztunk és ott helyben megvitattuk a reaktorfizikai számítások hiba-meghatározásának egyetlen kivihető módját...

Szinte kollégaként

A 90-es évek elején Pakson is indult egy főiskola, olyan konstrukcióban, hogy a diákok a félév felét Budapesten a BME-n, a másik felét Pakson töltötték. Engem is beszerveztek egy-két tárgy tanításának erejéig, az egyik tárgy Reaktorfizika volt, aminek egyik felét Szatmáry tanár úr tartotta meg Budapesten, a másikat én Pakson. A félév második fele az enyém lévén, megnyertem a félév végi zh-kat és vizsgáztatásokat, a diákok szokásosan kutyaütők voltak, a vizsgák néha messze belenyúltak a nyárba. Egy alkalommal már sokadszorra konzultációt kértek tőlem a diákok, ezúttal sokan, az évfolyam többsége. Már nyári szabadságomat töltöttem, mindegy, gyertek, otthon fogadtam őket. Körülülték a kerti asztalt, elővettem a jegyzeteimet, lapozgattam, nos, mire vagytok kíváncsiak? Amit te tanítottál, azt értjük, azt nem értjük, amit a Szatmáry tanár úr. (Zoltán magasabbra szabta a mércét, én igyekeztem egyszerűre szabni a mondandómat.)

Nos, hát, gyerekek, akkor talán menjetek konzultálni Szatmáry tanár úrhoz!

Jóval később, 2010 után

Diákköri munkák értékelése a BME-n. A zsűriben megint együtt, mint tavaly is. Szatmáry Zoltán, már emeritus professzor, vaskézzel, határozottan irányítja az eseményt, egymás után peregnék a diákok előadásai, sípol az óra, ha letelt a kiszabott idő, befejezni, nincs tovább. A jelöltek fiatalok, fiúk-lányok, jóképűek- csinosak, félszegek-határozottak, okosak.

A végén értékelés, a harmadik zsűri tag csendes, háttérbe húzódó, mi ketten egymásnak feszülünk, ki-ki a rögeszméjét igyekszik érvényre juttatni. Megegyezés, eredményhirdetés, diadal a győzők arcán, mégis a legjobbak a nyertesek mindkettőnk szerint.

Most, 2014.

Sokáig élj, Zoltán, erőben, egészségben, alkotásban. Amit tudok a szakmában, minden onnan ered, amit Tőled tanultam, több mint 30 évvel ezelőtt...

Adalékok Szatmáry Zoltán portréjához

Koblíngler László

A rövid kis cikkben a szerző néhány apró történettel kíván tisztelni Szatmáry Zoltán professzor úr születésnapján.

Amikor felkértek, hogy írjak néhány sort a Magyar Nukleáris Társaság alapítójáról, első elnökéről, jelenlegi tiszteletbeli elnökéről, Szatmáry Zoltánról a 75. születésnapjára szerkesztett Nukleon különszámba, először megdöbbenem: Tényleg már 75 éves lenne a mindannyiunk által tisztelt Professzor Úr? Aztán csodálkozásom hamar elillant, hiszen évek óta figyelem, hogy a környezetemben – rajtam kívül – mindenki öregszik.

A megtisztelő felkérésnek szívesen teszek eleget, mert pályafutásom kivételes szerencséjének tartom, hogy mind a Magyar Nukleáris Társaság szervezése és működtetése, mind egyéb ügyekben sokszor találkozhattam Szatmáry Zoltánnal – s akire éppen ezért talán szabad az alább egymást követő rövid történetekben egyszerűen Zoli-ként hivatkoznom.

1970-ben kerültem a KFKI-ba, Zoli akkor már néhány éve ott dolgozott, s fiatal kora ellenére nagyra becsült kutató volt. Egyik első találkozásunkkor elmondtam, hogy sugárzástranszport Monte Carlo számításokkal fogok foglalkozni. Zoli erre így reagált: „Szép dolog ez a Monte Carlo, csak az a gond, hogy mindenki, aki használja, előbb utóbb nekilát véletlenszám-generátorokat konstruálni, s eközben lassan elfejti, hogy mire is akarta őket használni”.

Ekkor határoztam el, hogy soha nem fogok algoritmusokat gyártani pszeudovéletlen-számok generálására, s ezt a fogadalmat mindmáig megtartottam.

Alig egy-két évvel később akadt egy kis problémám egy – Monte Carlo becsléssel számolt – hányszoros szórásának a kiszámításával. A gond onnan eredt, hogy a számláló és a nevező nem volt egymástól független. Eppen az irodalmat nézegettem, hátha találok valamit, amikor a KFKI ebédlőben összefutottam Zolival, és megemlítettem neki, hogy min töröm a fejem. Felajánlotta, hogy ebéd után feljön a szobámba, és megnézzük, mit lehet tenni. Két perc alatt megértette a problémámat, majd a táblához pattant (még hagyományos, fekete, krétás tábla volt), s elkezdte levezetni az összefüggést. Háromszor teleírta a táblát, s minden zökkenő nélkül „egy szuszra” előállította a képletet, amire szükségem volt. Nekem már csak annyi dolgom maradt, hogy távozása után gyorsan rekonstruáljam a hely szűkében letörölt részleteket. Ez volt az első alkalom, hogy személyesen találkoztam Zoli lenyűgöző matematikatudásával.

Zoli nyelvtudása is elképesztő. Bár addigra már négy világnyelvet magas szinten elsajátított, amikor néhány kubai kolléga jött az intézetbe, rövid idő alatt megtanult tőlük spanyolul. Később néhány hónapra Peruba utazott NAŰ szakértőként, s nem sokkal az előtt beszélgettünk Vargas Llosa *Júlia néni és a tollnok* című nagyszerű könyvéről.

A könyvben Vargas Llosa – a két párhuzamosan futó szál egyikében – a Júlia néni iránti szerelmét, házasságukat és a románc végét meséli el. Úgy emlékszem, én hívtam fel Zoli figyelmét arra, hogy az író világhírűvé válásakor a szerelem, s főleg a viharos befejezés történetét Júlia néni is megírta, s *Amit a kicsi Vargas elfelejtett leírni* címen kiadta. Zoli Peruban természetesen megvette a könyvet, ami egyáltalán nem volt könnyű feladat, mert a legtöbb boltban Vargas Llosa ügynökei a megjelenés után azonnal összevásárolták a példányokat. Kitartó volt, s egy külvárosi, eldugott boltban rátalált egy példányra. Kérdeztem tőle, hogy milyen a könyv. Válasza lakonikusan tömör volt: „Az ő helyében én is felvásároltattam volna...”

1990-ben hazánkban járt az Amerikai Nukleáris Társaság delegációja, s már az utazás szervezése során elcsodálkoztak, hogy nálunk nincs hasonló egyesület. Aztán az Európai Nukleáris Társaság is jelentkezett, nem egészen értvén, hogy miért nincs magyarországi tagegyesületük (korábban egyetlen kelet-európai társulat se volt tagjuk). Felvetődött tehát egy magyar egyesület létrehozása. Zoli a szervezés élére állt. Mivel addig már betöltöttem egy-két posztot az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportjában, Zoli áthívott – akkor éppen KFKI főigazgatói – szobájába, hogy írjunk egy alapszabály tervezetet. Ezúttal alapszabály-szerkesztői képességeit és jogi érzékét csodálhattam meg.

A Magyar Nukleáris Társaság alapító közgyűlésén – ahol az alapszabály kérdéseit is megvitattuk – mint afféle társ-szerkesztő, Zoli mellett ültem. Így hát érthető, hogy amikor a Társaság eredetileg kiszemelt titkára váratlanul mégsem vállalta a feladatot, Zoli a mellette ülőhöz fordult. Így lettem – Szatmáry Zoltán elnök mellett – az MNT első titkára. Az első elnöki periódus csak egy évig tartott, de a harmadik – immár hároméves – ciklusra újfent Zoli lett az elnök, s nekem volt szerencsém ismét vele dolgozni.

A Magyar Nukleáris Társaság ügyében folytatott beszélgetéseink örökre emlékeztetésekké számomra. Mindig nagy örömmel mentem le hozzá (ő akkor már a BME Nukleáris Technikai Intézetét vezette). A Társaság ügyeit általában elég hamar elintéztük, Zoli csak a leglényegesebb kérdésekkel foglalkozott, a mindennapi problémákat rám hagyta. Bevallom, ezeket – Zoli jóváhagyásával, s megkockáztatom: öröme – olykor hatáskörömet túllépve magam intézhettem. Viszont a hivatalos részen átesve többnyire számomra rendkívül tanulságos beszélgetésekké kezdtek. Nem volt olyan téma, amiben Zoli ne mozgott volna otthonosan, történelmi, irodalmi, nyelvészeti tájékozottsága mindig lenyűgöző.

Egy számomra különösen kedves történetet mesélnék el illusztrációként. Egyszer Manchesterbe készültem az Európai Nukleáris Társaság (ENS) közgyűlésére, amikor Zoli megkért egy szívességre. Ő nem sokkal korábban Kanadában járt, s megfigyelte, hogy ott a repülőtéri felüljárókon az alatta átférő járművek legnagyobb magasságát *Clearance height* feliratú táblán jelölik. Emlékezett rá, hogy Angliában nem így írják-mondják, de nem tudta, hogyan. Megkért, hogy nézzem meg. Amikor hazajöttem, s felhívtam őt, csak ennyit mondtam: „*Headroom*”. Tessék? – kérdezte ő. „*Headroom*” – ismételt meg. Ekkor boldogan kiáltott a telefonba: „Persze, *headroom*, ez az. Látod, téged érdemes kiküldeni, rád lehet számítani, te teljesíted a legfontosabb feladatot.” Mondanom sem kell, ezután megbeszéltük az út szakmai tanulságait is.

Ha már az ENS-nél tartunk, néhány rendezvényünkön Szatmáry elnök úr képviselte egyesületünket. Később egyszer az ENS akkortájt „mindenható” titkárával, Peter Feuz-cal

beszélgettünk arról, hogy lassan ideje lenne egy kelet-európai elnököt választani. Feuz úr azonnal Szatmáry Zolira gondolt, olyan mély benyomást tett rá korábbi elnökünk szaktudása, nyelvismerete, egész egyénisége. Nagy kár, hogy mire az ENS-nek tényleg kelet-európai elnöke lett, Feuz úr már más területen tevékenykedett, jómagam se vettem már részt az ENS ülésein – és Zoli sem volt társulati tisztviselő idehaza.

Kapcsolatunk azért nem szakadt meg végérvényesen, több éven át időnként meghívtak a BME Nukleáris Technikai Intézetébe a záróvizsga-, illetve doktori vizsgabizottságokba, mint külsős vizsgáztatót. Ezekre mindig szívesen mentem el, nem kis részben azért, mert sok kedves egyetemi kollégával találkozhattam. Sok esetben Szatmáry professzor úr elnökölt. Az ő szellemes megjegyzései mindig külön élményt jelentettek, akár a vizsgák során, akár a kiértékelő megbeszéléseken.

Önzön azt remélem, sokszor találkozhatunk még! Addig is, kedves Zoli, Boldog Születésnapot!



A Magyar Nukleáris Társaság Szimpóziumán (2005)

Szatmáry Zoltán és a reaktorszámítások

Gadó János

MTA Energiatudományi Kutatóközpont

1525 Budapest 114, Pf. 49, tel.: +36 1 392 2296

Szatmáry Zoltán kulcsszerepet játszott a magyar reaktorfizikus iskola létrehozásában, a fiatalabb generációk nevelésében és képzésében. Ő fejlesztette ki az első hazai számítógépes reaktorszámítási apparátust. A KFKI-ban nemzetközi keretekben végzett kísérleteket úgy irányította, hogy azok a reaktorszámítások kísérleti alapjaivá válhassanak. Szemlélete és szakmai eredményei mind a mai napig elevenen hatnak az atomreaktorok számításában.

A hazai reaktorszámítások kezdeti eseményei

Valamiféle reaktorszámítások valószínűleg már az 1950-es évek végén megkezdődtek a KFKI-ban, hiszen 1959-ben üzembe helyezték a kutatóreaktort, sőt annak tartalék fűtőelemeiből egy szubkritikus rendszert is összeállítottak. Ezek a számítások azonban papír-ceruza alapon, legfeljebb az alapléveleket végző egyszerű gépek felhasználásával történtek. A mai értelemben vett reaktorszámítások csak az 1960-as évek közepén kezdődtek meg, amikor három fontos esemény kvázi egy időben játszódott le.

A KFKI-ban üzembe helyezték az ICL-1905 számítógépet, amely az országban elsőként valóban alkalmas volt nagyobb számítógépi programok futtatására. Ezt a számítógépet nagyon szerettük. Igaz, kapacitása (memóriája, sebessége) a ma már nem divatos, kb. tíz évvel ezelőtti személyi számítógépek kapacitásához volt hasonló, de felépítésének egyszerűsége folytán töviről-hegyire meg tudtuk ismerni és maximálisan ki tudtuk használni.

Gyimesi Zoltán, aki meghatározó szerepet játszott a hazai atomenergia-kutatásokban, hosszabb időt töltött Norvégiában a Kjelleri kutatóintézetben. Ebben az időben zajlott ugyanis a NORA elnevezésű norvég-holland-lengyel zéró-reaktor projekt a NAÜ zászlaja alatt, amelyben kelet-európai kutatók is részt vehettek. (Talán ez a reaktor volt Szatmáry Zoltán nagyobbik lányának névadója.) Gyimesi Zoltán Norvégiából hazatérve rengeteg fontos ötletet, információt hozott haza, amelyek jelentős része az ott használatos reaktorszámítási programokra vonatkozott. Ő hozta haza (kicsit talán illegálisan) az Egyesült Államok haditengerészete által 1958-ban kiadott Naval Reactor Handbook első kötetét, a KFKI-s reaktorszámító szakemberek első generációjának bibliáját.

A harmadik esemény bizonyult a legfontosabbnak: Szatmáry Zoltán a kezdeti reaktoros kísérleti munkáját követően nekilátott a hazai reaktorszámítási apparátus létrehozásának. A kezdetektől megértette és kollégái számára is világossá tette a reaktorszámítások jelentőségét és jellegzetességeit. A számítások jelentősége abban áll, hogy azok a gyakorlatilag első elvekből levezethető összefüggésekre alapulnak és ezért

a valós atomerőművi reaktorok körülményei között is alkalmazhatóak, még akkor is, ha a számítások kísérleti ellenőrzése csak a kísérletek számára hozzáférhető kis reaktorokon történik. A számítások jellegzetessége, hogy matematikailag viszonylag jól kezelhető egyenleteken (a Boltzmann-féle lineáris transzportegyenleten) alapulnak, viszont adatbázisuk (főként a neutronos reakciókra vonatkozó magfizikai adatok) sok bizonytalanságot tartalmaz. További jellegzetesség, hogy a teljes számítási modell mögött egy egységes közelítés-rendszernek kell állnia, hogy a számításokat végző programok eredményei egymással konzisztensek legyenek.

Az első reaktorszámító programok

Szatmáry Zoltán rögtön kiváló emberekkel kezdett dolgozni: Valkó János és Vigassy József voltak a fő partnerei. Később még számos (akkor) fiatalember csatlakozott ehhez a csoporthoz, amelynek meghatározó személyisége mindvégig Szatmáry Zoltán maradt. Rendkívül alapos fizikai és matematikai felkészültségével mindig a csoport előtt járt és bármilyen problémát képes volt nemcsak megoldani, de szinte zsonglörként sziporkázta az elegánsabbnál elegánsabb megoldásokat.

A reaktorszámítások első elemei részben a neutronspektrum kiszámítására, részben pedig a neutronok térbeli eloszlásának számítására vonatkoztak (az előzőekben Valkó János, az utóbbiban pedig Vigassy József volt Szatmáry Zoltán partnerei).

A neutronspektrum kiszámításának három alapvető összetevője volt, lényegében három számítógépi program készült. Az egyik (GRACE) célja a neutronok lassulásának számítása volt. Termikus reaktorokban a neutronok a hasadási energiákról (1-10 MeV) termikus energiákra lassulnak, mielőtt jó eséllyel újabb hasadásokat keltenek. Ez a folyamat látszólag egyszerű, de az egyenletek valójában eléggé bonyolultak. Ezt a programot egészítette ki az a program, amely a már termalizálódott neutronok tér- és energia szerinti eloszlását számolja egy fűtőelem-cellában (THERMOS). (A fűtőelem-cella a fűtőelem-pálcából és annak a pálcára jutó víz-környezetéből áll.) A termikus neutronok láncreakcióban betöltött szerepének meghatározása után az

egész neutronspektrumot számító GRACE programmal meg lehetett határozni a közeg sokszorozási tényezőjét, a kritikusságtól való távolságot. A neutronspektrum számítása alapvetően támaszkodik a reaktorokban előforduló különböző izotópok magfizikai adataira, amelyeket egy korabeli számítógépes adatbázis rögzített. A neutronspektrum számításának még egy fontos összetevője volt: annak az energiatarományynak a részletes leírása, ahol az urán rezonancia-hatáskeresztmetszetei vannak. Ilyenkor lényegessé válik a fűtőelem-cella heterogenitása is. Ezek a számítások (RIFFRAFF) az effektív hatáskeresztmetszetek meghatározásával mintegy felülírták a nukleáris adatbázis vonatkozó adatait.

Különösen időigényes volt a neutronok térbeli eloszlását számító program (SYSIPHUS). Ez lehetővé tette a neutrontranszport-egyenletet közelítő diffúziós egyenlet megoldását az egész reaktorra, csak gyors (epitermikus) és termikus neutronokkal számolva, úgy, hogy a nagyobb, ténylegesen heterogén térrészeket effektív homogenizált hatáskeresztmetszetekkel kellett jellemezni. Ez utóbbiakat kellett a neutronspektrum-számításokból előzetesen meghatározni. A reaktor egészének számításával ki lehetett számítani a reaktor kritikusságtól való távolságát és a gyors és termikus neutronok térbeli eloszlását. Maga a matematikai probléma egy sajátérték-egyenlet, amelynek megoldása csak elég bonyolult kettős iterációval érhető el.

Volt még egy fontos számítási probléma: a reaktorokban lévő abszorbensek neutronos tulajdonságai semmiképpen sem írhatóak le diffúziós közelítésben, azok belsejét határfeltételekkel ki kell rekeszteni a számításból. E határfeltételek paramétereinek meghatározása nem egyszerű feladat. Szatmáry Zoltán erre használta úttörő módon a Monte-Carlo módszert (RAM programok).

Az 1960-as évek végére létrejött számítási apparátus alkalmas volt kisebb reaktorok számítására, például ennek segítségével végezték a KFKI-ban a BME Tanreaktor tervezési számításait az 1971-es üzembe helyezés előtt.

Számítások és mérések

A KFKI-ban egész sor ún. kritikus rendszeren végeztek kutatásokat. Szatmáry Zoltánnak e kísérleti munkában meghatározó szerepe volt, de erről mások írnak. A magam részéről feltétlenül Szatmáry Zoltán érdemének tudok be két nagyon fontos módszertani vívmányt.

Az egyik az, hogy a kritikus rendszerekkel végzett kísérleteket olyan emberek tervezték, akik alapvetően a számításokkal foglalkoztak és nem azok, akik egyszerűen a korábbi kísérleteiket akarták folytatni, de nem is azok, akik mindenáron a valóságos atomerőművi reaktorok körülményeihez legközelebb álló körülményeket akartak megvalósítani.

Ez sorsdöntő vita volt a KFKI-ban 1972 és 1990 között működő ZR-6 reaktor életében. A reaktoron nemzetközi kutatókollektíva végezte az egyeztetett kísérleti programnak megfelelő méréseket. Szatmáry Zoltán vezetésével a magyar

és a szovjet résztvevőknek a csehszlovák és NDK-s partnerekkel folytatott vita alapján a számítási modellek validálását, azaz a számítási modellek által szolgáltatott eredményekkel leginkább ekvivalens (azaz kevés korrekciót igénylő) mérési eredmények előállítását sikerült a mérések céljaul kitűzni. Ezzel ellentétben állt az az elképzelés, hogy a mérések az erőművi körülményeket közelítsék. Ezt az elképzelést azért tekinthetjük kevésbé célravezetőnek, mert a mérési eredmények leképezése a tényleges erőművi viszonyokra csak megengedhetetlenül nagy bizonytalanságot hozó közelítésekkel lenne lehetséges.

Hasonlóan fontos vita zajlott a mérési módszerek tekintetében, ahol a Szatmáry Zoltán által ösztönzött újszerű módszerekkel sokkal értékesebb eredményeket lehetett előállítani, mint az 1940-es években keletkezett „hagyományos” módszerekkel.

Nem véletlen, hogy amikor az OECD Nukleáris Energia Ügynöksége az ezredfordulón szükségesnek tartotta egy olyan kísérleti adatbázis megszervezését, amely tartalmazza a világban kis reaktorokon végzett reaktorfizikai mérések egészét (a már korábban elkészített kritikussági adatbázison túlmenően), akkor az azóta is elismert és használt IRPhE (International Reactor Physics Experiments) adatbázis tervezésében a ZR-6-on nevelkedett magyar szakemberek és Szatmáry Zoltán személyesen is kulcsszerepet játszottak.

Visszatekintés, személyes megjegyzések

A KFKI Atomenergia Kutatóintézetben a későbbiekben létrejött és ma is használatos reaktorfizikai számítások sok szálon kapcsolódnak a fentebb ismertetett tevékenységekhez. Az akkor készült programok egyes elemeit ma is használják, a modell komplexitásának és az elemek konzisztens kialakításának szemlélete ma változatlanul érvényesül, a kísérleti validáció szükségessége ma is nyilvánvaló, és legfőképpen a mai modellt olyan emberek hozták létre (gondolok elsősorban Keresztúri Andrásra), akik munkájuk kezdeti szakaszában Szatmáry Zoltántól ismerték meg a szakma csínját-bínját.

Ily módon Szatmáry Zoltánnak köszönhetjük, hogy itthon megteremtett egy szakmát, a reaktorfizikai számítások szakmáját; kidolgozta annak alapjait, az első számítógépi programrendszert; olyan iskolát hozott létre, amelyben a későbbi magyar reaktorfizikus gárda felnevelkedett.

Ami engem illet, személyesen nagyon sokat köszönhetek Szatmáry Zoltánnak. Ő vett fel az intézetbe. Barátságunkat az első naptól kezdve megalapozta, hogy mindkettőnknek Rózsa Pál matematikus volt a kedvenc tanára. Majdnem húsz évig napról-napra együtt dolgoztunk, rengeteget utaztunk együtt különböző ZR-6 megbeszélésekre. A szakma és az élet minden területén őszinte jó barátok lettünk, ami nem változott az után sem, hogy Szatmáry Zoltán máig is nehezen gemegészíthető előzmények után megvált a KFKI-tól. Remélem, hogy családja és barátai még hosszú ideig élvezhetik az ő kivételes egyéniségének kisugárzását.

A nodális módszer titkai

Makai Mihály

MTA Energiatudományi Kutatóközpont

1525 Budapest 114, Pf. 49, tel.: +36 1 392 2222

A KFKI-ban létrehozott reaktorszámítási modellben Szatmáry Zoltán kiemelt szerepet játszott. A modell létrehozásának a globális számításokra vonatkozó részleteit tárgyaljuk, amelynek célja volt egy modern számítási módszer meghonosítása, kidolgozása, ellenőrzése, azaz validációja és verifikálása. A módszer a VVER-1000 reaktorok számítására kidolgozott programrendszer és a később megvalósított KARATE-440 programrendszer része. Az alkalmazott analitikus megoldás a nyolcvanas évek elején született, a kilencvenes években már a kódok többsége ilyen alapon működött a világban.

Az egyetem után a Magyar Állami Geofizikai Intézetnél kezdtem munkáséletemet. Egy fiatalokból álló társaságban a geofizikai kutatások eredményeinek kiértékelése volt a feladatom. Egy idő után arra vágytam, hogy legyen egy nagy tudású kolléga, aki valamit tud segíteni a feladatok megoldásában. Amikor átkerültem a KFKI Atomenergia Kutató Intézetébe, ott Szatmáry Zoli csoportjába ez a kérdés megoldódott, Zolival mindenről lehetett beszélni, mindenre volt ötlete.

A KFKI Atomenergia Kutató Intézetében szokás volt a fiatalokat elküldeni hosszabb időre, tanulmányútra. Akkoriban készült Szatmáry Zoltán csoportjában az első reaktorkód, amiben a diffúziós számításokat egy SYSYPHUS nevű véges differencia kód végezte. Mint a kódrendszer koncepcióját, a kódrendszer elemeinek nagy részét is Zoli vezetésével készítettük. A SYSYPHUS kódot Zoli és Vigassy József készítette. Zoli már akkor úgy gondolta, hogy a jövő a modern számítási módszereké, mint amilyen a végeelem és a nodális módszer. Ez a nézet kisebbségben volt a reaktorosok között, a többség a számítások gyorsítását a párhuzamos processzoroktól várta.

Az említett végeelem és nodális kódokról akkoriban jelentek meg az első közlemények német, angol és amerikai folyóiratokban. Arra nem gondolhattunk, hogy nyugatról intézeti riportokat kapunk. A nemzetközi kapcsolatokat az Országos Ösztöndíj Tanács által odaitélt ösztöndíjak jelentették. A beérkezett pályázatok elbírálása olyan körültekintően folyt, hogy megesett, a pályázat beadásakor még nőtlen jelölt már kétgyermekes családapaként kapta meg az ösztöndíjat. Zoli úgy gondolta, a képzés része, hogy a fiatalok jó hírű, nyugati intézeteket is megismerhessenek. Ami engem illet, szerettem volna a Kurcsatov Intézetbe ösztöndíjat kapni, de ez szóba sem jöhetett.

Osztályvezetőnk, Kosály György azt ajánlotta, menjek az Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR) intézetbe, ahol dolgoznak ilyen programokon. Mivel Gyuri is hosszabb időt töltött az EIR-ben, felajánlotta, keres alkalmas témavezetőt. Ebből ugyan nem lett semmi, mert mire az ösztöndíjat 1979-ben megkaptam, Gyuri már illegálisan külföldre távozott, ahogyan akkor mondtuk: disszidált.

Az EIR-ben Claud Maeder vett szárnyai alá. Úgy gondoltam, a legegyszerűbb, ha bekapcsolódom az ott folyó munkába, így mindenkinek hasznos lesz, ha csinálom valamit. Claude kifejlesztett egy eljárást és programot, amelyben a diffúziós egyenlet megoldását Legendre-polinomokkal közelítette. Az eljárás a végeelem módszer egy változata volt, nagyon pontos eredmények jöttek ki, igaz, elég lassan.

A hetvenes évek végén két domináns iskola létezett. Az MIT-ban Allan Henry tanítványaival (Kordon Smith, Kalambokas és mások) nodális programokat készített. Ők úgy gondolták csökkenteni a futási időt, hogy a neutron szabad úthosszához képest nagy kazettában csak az átlagfluxust és a kazetta peremén a bejövő parciális áramokat határozták meg. Az áramoknak is csak az első pár momentumát tárolták. Ez jelentősen csökkentette az ismeretlenek számát, és a számítások jelentősen gyorsabbá és pontosabbá váltak. Henry ötlete volt, hogy a kazettán belül a neutronfluxust analitikusan kellene megadni. Ez azonban még a négyyszögös kazetták esetén is csak egy dimenziós számítás esetén volt lehetséges. Ezt a nehézséget úgy védték ki, hogy a másik két térbeli változóra integrálták a diffúziós egyenletet, a megmaradó egyváltozós egyenlet megoldását pedig exponenciális függvényekkel meg lehetett adni. Az integrálás után megjelent egy új tag, ami a kifolyás integrálásából adódik, ezt keresztáramnak (cross-leakage) nevezték és egy kvadratikusan polinommal közelítették. A számítás másik kellemetlen vonása, hogy a három koordinátára külön-külön kellett iterálni, hogy a keresztáramok okozta visszacsatolás hibája kellően kicsi legyen.

A másik iskola a KWU-ban Richard Wagner, Klaus Koebke, Herbert Finnemann más utat választott. Ők polinomokkal közelítették a fluxust a kazettában, de nem oldották meg a diffúziós egyenletet, hanem annak csak bizonyos súlyfüggvényekkel vett integráljait tették nullává. Ez volt a végeelem módszer alapjogdolata.

Claude Maeder nagyon realista volt. Ha előjöttem egy ötlettel, egy darabig vitatkoztunk, megbeszéltük, majd azt mondta: „Jó, akkor csináld meg!”. Először egy exponenciálisokkal dolgozó nodális programot írtam, ami SEXI néven bekerült az EIR programtárába. Később azonban

feltettem a kérdést: „Miért nem lehet a diffúziós egyenlet analitikus megoldását megadni?” Hamar kiderült, nincs semmi akadálya, hiszen a megoldás általános alakja exponenciális függvények lineáris kifejezéseként felírható. Négyszöges geometriára írtam egy ANANAS nevű programot, amiben egyetlen közelítés volt: a nódus peremén előírt parciális áram megadása.

Közben rájöttem, hogy a kazetta szimmetriáit kihasználva a számítást gyorsabbá lehet tenni. Ezt az ötletet az ANANAS programba építettem be, az eredmény egy gyors és pontos algoritmus volt, amelyben az egyetlen korlátot a kazetta peremén előírt peremfeltétel jelentette.

Abban az időben az EIR-ben dolgozott Jacek Arkuszewski, aki írt egy remek nodális programot (SIXTUS) hatszöges geometriára. Megkérdeztem Claude Maedert, össze lehet-e házasítani Jacek programjának szervezését az én analitikus megoldásommal. A válasz igen volt. Az új algoritmus átirása hatszögekre zökkenőmentesen történt. 1981-ben adtunk hírt

az eredményről. Az EIR az algoritmust átadta a japánoknak, egy konferencián már, mint EIR-JAERI termékről beszélt róla egy japán előadó.

1980-ban az IAEA ösztöndíj véget ért, hazatérésem után a VVER-1000 projektbe már a gyorsított új algoritmus került be HEXAN néven. Itt megmutatkozott az analitikus megoldás előnye: a VVER-1000 kazetta átmérője több mint 10 szabad úthossz, mégis a megoldás pontossága alig csökkent. Szerencsém volt, nem következett be sem személyi változás, a stratégia sem változott meg, továbbra is szükség volt a diffúziós egyenlet gyors és pontos megoldására. Azóta az analitikus próbafüggvényeken alapuló módszerek elterjedtek a világban. Japánban, az USA-ban, Svájcban, Németországban biztosan tudom, hogy kisebb-nagyobb változtatásokkal használják.

Ennyi haszna van egy előrelátó főnöknek, aki távlatokban gondolkodik, a probléma megoldását tartja szem előtt. Nem ártana, ha minél több ilyen vezető lenne...



Szemináriumon a Nukleáris Technikai Intézetben (2004)

Az RFIT születése

Vidovszky István

MTA Energiatudományi Kutatóközpont

1525 Budapest 114, Pf. 49, tel.: +36 1 392 2293

Magyarországon egyedülálló, ám világviszonylatban is jelentős kísérleti program zajlott a Központi Fizikai Kutatóintézetben (KFKI) 1972 és 1990 között. E program során létrejött egy kísérleti adatbázis, amit világszerte használnak a VVER típusú reaktorok számítási apparátusának validálására. Az adatbázis nem jöhetett volna létre Szatmáry Zoltán munkássága és az általa írt RFIT programrendszer nélkül. E rövid visszaemlékezés az RFIT létrejöttének körülményeit próbálja felidézni.

Előzmények

Zöldfülű kezdő voltam a KFKI Reaktorfizikai Osztályán, amikor óriási lehetőség látszott megnyílni előttem, épült a ZR-6. Az épülő kritikus rendszer, vagy más szóval zéróreaktor jelentősen különbözött az első öttől, erre ugyanis nagy nemzetközi mérőprogramot szerveztek. Belépésem idején már csak hónapok voltak hátra a reaktor indításáig, mindenki a jövődőlő kísérletek tervezésével foglalkozott. Műszerek karbantartása, újak beszerzése, vendégszobák építése, stb. volt a főcsapás iránya. Egy ember volt csak, akit nem a kísérleti berendezések foglalkoztattak, sőt a jövődőlő vendégek sem, hanem a majdani mérések kiértékelése. Szatmáry Zoltánnak hívták. Ő akkor még igen fiatal volt, de már nagy tekintélynek örvendett, hiszen mind a kísérletek, mind a számítások jó ismerője volt és pontos elképzelései voltak mire lesz jó az a rengeteg mérési eredmény, ami reményeink szerint hamarosan ránk zúdul. Valószínűleg ő volt az egyetlen, aki pontosan tudta, hogy egységes és jól megalapozott kiértékelés nélkül nem lesznek összehasonlítható eredmények, továbbá hogy a várható adatmennyiség feldolgozása több időt vesz majd igénybe, mint a mérések maguk. Tudta és nem tétlenkedett, nekilátott az egységes mérésiértékelő programrendszer, az RFIT megírásának.

A reaktor hamarosan elkészült, megérkeztek a külföldi kutatók is, a műszerek száma is egyre szaporodott. Mindenki a munka lázában égett, mindenki mérni akart. Egyre gyűltek az eredmények. Eljött az első összenézés ideje. Az eredmény első közelítésben katasztrófális volt. Ha egy paramétert többen mértek, akkor több eredmény is született. Az eltérés nagyobb volt, mint a mérési hiba alapján vártuk. Vakartuk a fejünket, újraértékelünk sok mérést, de döntő javulás nem következett. Zoli csak mosolygott és elkérte a primer adatokat. Hamarosan kiderült, hogy a mérések kiértékelésében ugyancsak sokféle iskolát követünk. A mérések végeredményének tekintett paraméterek egy része például a reaktorfizika őskorából származott, amikor a számítási módszerek még gyerekcipőben jártak, ezért a paraméterek kiválasztásában döntő szerepe volt annak, mi számítható a legkönnyebben. Ezeket a paramétereket a közvetlenül mérhető mennyiségekből mindenféle faktorok

segítségével kaptuk meg, amely faktorokat természetesen mindenki más forrásból szerezte be, így eltérők is voltak. Az eltérések nem voltak túl nagyok, de sok kicsi sokra megy és így végül is az összehasonlított paraméterek eltérése nem csak a mérési módszerek eltéréseiből fakadt, hanem a faktorok is szerepet játszottak. Zolinak sikerült kimutatni, hogy a látszólag nagyon eltérő eredmények a legtöbb esetben megegyeznek a hibahatáron belül, ha a csak mérésből származó információt hasonlítjuk össze. Ez így utólag triviálisnak tűnik, ám annak idején nem volt könnyű feladat meggyőzni a kísérletezők zömét.

Az RFIT program

Az RFIT először mint egy egyszerű illesztő program jelent meg, ám fejlődése hosszú évekig tartott és végül egy rendkívül összetett, sokoldalú mérési adatkezelő és kiértékelő rendszerre nőtte ki magát. Nagyon sokféle mérési eredményeinek feldolgozására használtuk kezdve a neutronok térbeli durva és finom eloszlásának tanulmányozásától a neutronok energia szerinti eloszlásának tanulmányozásáig, sőt kinetikai, dinamikai vizsgálatokra, úgymint reaktivitástényező meghatározására. Az RFIT a ZR-6 program legfontosabb eszköze volt, de felhasználása korántsem korlátozódott a ZR-6-on végzett mérésekre. A program rendkívül felhasználóbarát, sőt nagy és összetett volta ellenére is könnyen módosítható, továbbfejleszhető, hiszen például ha valaki nem elégszik meg az illeszthető függvények egyébként elég széles körével, a program felhasználói kézikönyve [1] alapján könnyen írhat bele új illesztő függvényt. Ily módon az RFIT valóban általános célú mérésiértékelő program, kellő hozzáértéssel bármilyen mérésiértékelésre alkalmas.

Az ZR-6 program minden bizonnyal a leghosszabb ideig tartó magyar nukleáris program volt, tizennyolc éven át tartott (1972 - 90) és ez alatt több mint háromszáz különböző zónakonfigurációt tanulmányoztunk. Ez a program adta a VVER típusú fűtőelem-rácsok legátfogóbb kísérleti adatbázisát. Az adatbázis publikálása az Akadémia Kiadó gondozásában megjelent kötetekben történt [2, 3, 4, 5]. Az 1984-ben oroszul, majd '85-ben angolul megjelent első kötet tartalmazza a kísérletek első részét, a második kötet azon számítások leírását, amelyek ellenőrzésére a kísérletek

szolgálnak, a harmadik kötet pedig a kísérletek második részét. A 2000-ben megjelent negyedik és ötödik kötet már kiegészítő jellegű. Szatmáry Zoltánnak mind az öt kötet létrejöttében alapvető szerepe volt, nem csak mint az RFIT alkotójának, hanem mint a kiértékelő, elemző, szerkesztő munka részesének és több esetben irányítójának is. 2001-ben jelent meg a kiegészítő kötet, ugyancsak az Akadémiai Kiadó gondozásában, amely kiegészítő adatokat és újraértékeléseket tartalmaz. Ez a kötet tovább növeli a kísérleti adatbázis értékét. A kiegészítő kötet teljes egészében Szatmáry Zoltán munkája. Amint a kötetek megjelenésének évszáma bizonyítja, a kiértékelés, feldolgozás bizony tovább tartott, mint a kísérletek, hiszen az első kötetten megjelenése előtt már jó néhány évet dolgoztunk.

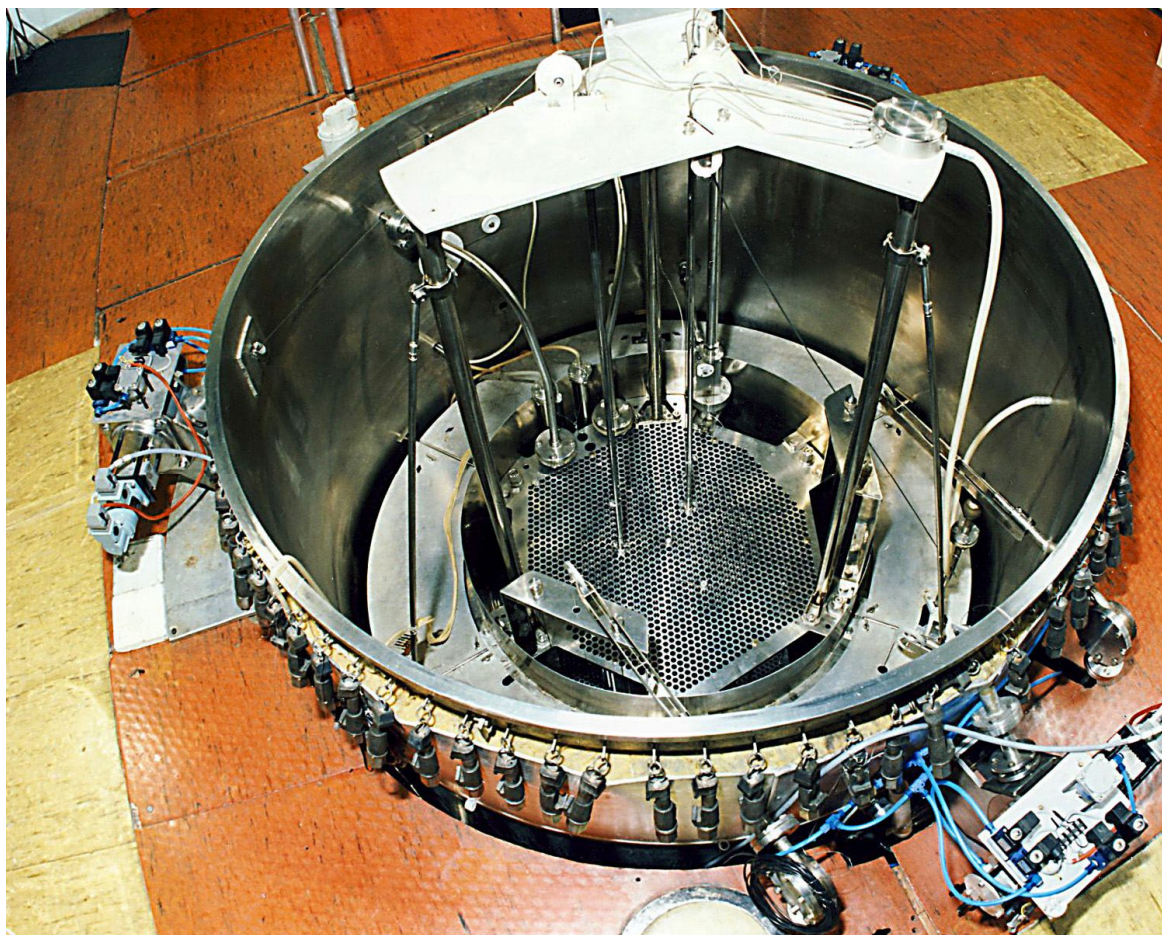
Biztos vagyok benne, hogy a hetvenötödik születésnapján mindenki igyekszik számot vetni azzal, hogy mi mindent tett és annak milyen hatása lett. Úgy gondolom, hogy ha Szatmáry Zoli semmi mást nem tett volna, csak azt, ami itt van leírva, akkor is igen elégedett lehetne, hiszen ez is

hatalmas érték, amit például az OECD két nagy nemzetközi programja (ICSBEP és IRPHE) is elismert azáltal, hogy az adatok egy részét integrálta [6]. A nemzetközi érdeklődés a ZR-6 eredmények iránt már az OECD-s programok előtt is jelentős volt, saját tapasztalatom szerint Argentínától Indiáig, de valószínűleg még távolabb is. Az egyik legjobb élményemnek azt tekintem, amikor megláttam az Akadémiai Kiadó által megjelentetett első kötetet Chalk Riverben (Kanada) a reaktorfizikai osztály vezetőjének polcán. Természetesen kiderült, hogy ismeri is a könyvet, nemcsak dekorációnak használja. Arról azonban, hogy Zoli mást ne tett volna, szó sincs. Az itt leírtak csak kis részét képezik Szatmáry Zoltán kimagasló életművének, ami reményem szerint még korántsem befejezett. A többről azonban szóljanak a többi szerzők.

A magam és a ZR-6 kísérletekben résztvevő valamennyi magyar és külföldi kolléga nevében ezúton szeretnék Zolinak nagyon boldog születésnapot, jó egészséget és további jó munkát kívánni!

Irodalomjegyzék

- [1] Z. Szatmáry: *Data Evaluation Problems in Reactor Physics, Theory of Program RFIT*, KFKI-1977-43 (1977)
- [2] J.Bárdoš, R.Becker, C.Dabrowski, L.Gácsi, J.Gadó, E.T.Józefowicz, Iu.Ia.Kravchenko, K.Krinizs, A.Stanolov, Z.Szatmáry, L.Turi, I.Vidovszky: *Final report of TIC, Volume 1, Experimental Investigations of the Physical Properties of WWER-type Uranium - Water Lattices*, Akadémiai Kiadó, Budapest 1985
- [3] C.Alvarez, J.Bárdoš, R.Becker, L.Gácsi, J.Gadó, Iu.Ia.Kravchenko, Z.Szatmáry, I.Vidovszky: *Final report of TIC, Volume 3, Experimental Investigations of the Physical Properties of WWER-type Uranium - Water Lattices*, Akadémiai Kiadó, Budapest 1991
- [4] C.Alvarez, R.Becker, Iu.Ia.Kravchenko, Z.Szatmáry, I.Vidovszky: *Final report of TIC, Volume 4, Experimental Investigations of the Physical Properties of WWER-type Uranium - Water Lattices*, Akadémiai Kiadó, Budapest 2000
- [5] Z. Szatmáry: *Supplement to the Final Report of TIC, Additional Data, Amendments, Reevaluations*, Akadémiai Kiadó, Budapest 2001
- [6] Z. Szatmáry: *The VVER Experiments: Low Enriched Uranium - Light Water Regular and Perturbed Hexagonal Lattices (LEU-COMP-THERM-016) in OECD NEA International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, Volume IV*



A ZR-6

Számítások és mérések egységes kezelése a reaktorfizika területén

Keresztúri András

MTA Energiatudományi Kutatóközpont

1525 Budapest 114, Pf. 49, tel.: +36 1 392 2222

Szatmáry Zoltán meghatározó szerepet játszott a reaktorfizikai számítási módszerek kidolgozásában és meghonosításában az 1960-as évektől kezdve. Ennél is nagyobb jelentőségű az a következetes szakmai – majd később oktatási – tevékenység, aminek révén elérhető volt, hogy a reaktorfizikai számítások bizonytalanságai mérések eredményeinek felhasználásával megalapozott módon váljanak ismertté, esetenként csökkenthetőek legyenek. Nemcsak módszereket és számítógépes programot (RFIT) dolgozott ki ebből a célból, hanem a hazai reaktorfizikusi körökben egységes, világos gondolkodásmódot, iskolát teremtett a számítási és mérési bizonytalanságok igényes, a matematikai statisztika elméletén alapuló kezelésmódjának tekintetében. Mindez nem önmagában való tudományos célból történt, hanem annak felismerése révén, hogy a *reaktorbiztonság* értékelése során olyan tartálokat kell képezni, amelyek megfelelő módszerekkel értékelt valószínűségi jellemzőkkel rendelkeznek.

A VVER reaktorok reaktorfizikájával foglalkozó nemzetközi közösség számára alapvető jelentőséggel bír, hogy személyében – lévén mind az elmélet, mind a mérési módszerek területén jártos – a ZR-6 reaktoron folytatott kutatási tevékenység olyan irányítás alatt folyhatott, melynek során a mérések és a számítások „találkoztak”. Így egyrészt figyelembe voltak véve a különböző szinteken végzett gyakorlati reaktorfizikai számítások szükségszerű korlátjai (cella, köteg, reaktor szintű számítások), másrészt a mértek nyilvánított mennyiségekről le voltak választva azok a „sallangszerű” korrekciók, melyek révén a precíz összehasonlítás jogossága a mérés-sorozat kezdetén még vita tárgyát képezte. Világos helyzet alakult ki, azt számítottuk, amit mértünk, a korrekciók leválasztása után a mért értékek nem váltak korrelálttá a számítottal, miközben a korrekciókkal módosított módszer által kitűzött cél teljesült, vagyis sikerült a bennünket érdeklő fizikai folyamatra jellemző mennyiséget mérni. Ilyen példaként említhető a szokásos „kadmium viszony” elhagyása és helyette a spektrális indexek bevezetése. Az általa speciálisan a reaktorfizikai mennyiségekre, eloszlásokra kidolgozott RFIT program használatával a mérési adatok minősítése, a hibásak („kiszóró adatok”) elhagyása objektív, statisztikailag megalapozott és nyomon követhető módon, számszerűsített feltételek alapján történhetett. Ezután ugyanez a kód alkalmassá vált a számítások és mérések statisztikailag megalapozott összehasonlítására, a reaktorfizikai számítási programok minősítésére és pontosítására is. A fentiek révén egy sok-résztvevős, jelentős mértékű erőfeszítéseket igénylő nemzetközi projekt során sikerült az egyes kísérleteket végzők változatos, egyéni, nyomon követhetetlen, szubjektív döntéseinek hatásait is

minimalizálni. (Mindezt tréfásan akár nevezhetjük minimum likelihood módszernek is.)

Szatmáry Zoltán *Jánossy Lajos* és *Sir Ronald Aylmer Fisher* nyomdokain haladva a maximum likelihood módszerből indult ki. Eszerint a keresett paraméterek becsült értékét úgy választjuk meg, hogy azok mellett a közvetlenül kapott kísérleti („primer mérési”) eredmények a legvalószínűbbek legyenek. A módszer előnye, hogy matematikailag jól kezelhető formulákra vezet, továbbá hogy a becslésnek kedvező matematikai statisztikai tulajdonságai vannak. Legfontosabb tulajdonságát a paraméterek becslésében alapvető Cramér–Rao-egyenlőtlenség segítségével tudjuk megvilágítani: reguláris becslési problémák esetében a becsült paraméterek szórása nem lehet egy alsó határnál kisebb, bármilyen módszert használunk is a becslési probléma megoldására. Bebizonyították, hogy a maximum likelihood becslések szórása az alsó határhoz tart, amikor a mérési adatok száma minden határon túl nő. Vannak esetek, amelyekben a szórások már véges számú adat esetén is minimálisak. Elsőre azt gondolhatnánk, hogy a szilárd alapok rögzítése után tulajdonképpen már mindennel készen is vagyunk, már „csak” be kell programoznunk az adódó formulákat, és már lehet is tekerni a számítógépet (ami egyébként szintén sok figyelmet igényel, és időnként rendkívül fárasztó). Arról az „apróságról” azonban nem szabad megfeledkezni, hogy a módszer alkalmazásához ismeretekkel kell rendelkezniünk a mért mennyiségek valószínűségi eloszlás-függvényeiről, amivel kapcsolatban gyakran csak feltevéseink léteznek. Ezért a paraméterek becslésén túl meg kell győződnünk arról is, hogy ezek a feltevések („hipotézisek”) helytállóak. Erre szolgálnak a matematikai statisztika ún. hipotézisvizsgálati eljárásai, melyekből számos létezik, és hogy éppen melyiket kell használni, az a vizsgált fizikai jelenségek, folyamatok, az alkalmazott mérési eljárás függvénye. Szatmáry Zoltán további érdeme, hogy megtalálta és beépítette az RFIT programba azokat a statisztikai próbákat (és illesztő függvényeket), amelyek speciálisan egy kísérleti reaktoron végzett méréssorozat esetén relevánsak. Ez többször nem volt egyszerű feladat.

A fentiek megvilágítása céljából – a több lehetséges közül – itt most csak egy esetet, a reaktorok ún. aszimptotikus tartományában végzett méréseket említjük és válaszolunk. Homogén, vagy azonos felépítésű fűtőelem pálcákat periodikusan tartalmazó (ez utóbbi esetben az alábbiakat finomítani kellene) reaktorok egy belső tartománya általában aszimptotikus viselkedést mutat, ami egyrészt azt jelenti, hogy itt a neutron-fluxus térfüggése a Laplace-operátor sajátfüggvénye, másrészt az energia szerinti spektrum – az említett

térfüggésből származó energia-független normáló faktortól eltekintve – állandó. A Laplace-operátor sajátértékének négyzetgyökét görbületi tényezőnek nevezzük. Csak egyirányú (pl. axiális) térfüggés esetén (a másik két irányban a reaktor ebben az esetben végtelen), a fluxus térfüggése $\cos(Bz)$ alakú, ahol „z” az axiális koordináta, B a görbületi tényező. Tekintve, hogy a reaktor véges, elméletileg szigorúan ez a feltevés mindig sérül, azonban gyakorlatilag, a mérési pontosságot is figyelembe véve, a reaktor belső tartományában az eltérés észrevehetetlen, viszont kijebb a reflektor felé közeledve egyre inkább szembeötlő. Fontos kérdés, hogy adott, egyébként becsléssel szintén meghatározható mérési bizonytalanság esetén, az aszimptotikus tartomány hol helyezkedik el, a reaktor mely részére terjed ki, melyek azok a pontok, amelyeket már el kell hagynunk. Minél több pontot hagynunk el, annál inkább várhatjuk, hogy az aszimptotikus-sággal kapcsolatos feltevésünk („hipotézisünk”) teljesül, viszont romlik a mérési statisztikánk, pl. a görbületi tényezőt csak kisebb pontossággal tudjuk becsülni. A szélső pontok indokolatlan meghagyása viszont torzítja a görbületi tényezőre adott becslésünket. Érezhető, hogy a válasz a mérési pontosságnak is függvénye, pontatlan mérések esetén az aszimptotikus tartomány bővíthető, mert a mérési hiba minden tekintetben érzékelhetetlenné és így irrelevánssá teszi az aszimptotikus tartományból való kilépést. Ez a kétségtelenül pongyola – de talán szemléletes – megfogalmazás is jelzi, hogy itt valójában a nem aszimptotikus pontok elhagyásának objektív, statisztikailag megalapozott és nyomon követhető módon, számszerűsített feltételek alapján kell történnie. Szatmáry Zoltán erre az esetre is speciális statisztikai próbát és kiértékelési módszert dolgozott ki.

Az aszimptotikus tartományban végzett mérések jelentősége nagy. Ez azzal függ össze, hogy a reaktorfizikai számítások első, ún. spektrális szintjén ilyenkor elegendő, ha az egy

fűtőelem pálcára és az azt körülvevő moderátorra terjed ki, aminek révén egy sor további, a heterogén struktúrákat tartalmazó régiók számítása során fellépő metodikai bizonytalanság nem lép fel, és a számítás bizonytalanságaiért csak a hatás keresztmetszet adatok és a technológiai adatok hibái a felelősek. A KFKI-ban végzett munkám egyik első feladataként meg kellett határoznom az aszimptotikus tartományban végzett reaktorfizikai számítások fenti forrásokból származó bizonytalanságát, illetve a fent említett legjobb becslés módszerrel pontosítanom kellett mind a számítás, mind a hatás keresztmetszet adatokat (az utóbbi esetben azok mérési hibáin belül). A feladat megoldásához a ZR-6-on és más hasonló célú reaktoron mért görbületi tényezőket és spektrális indexeket használtam fel. A módszer működött, viszont adódott egy olyan tapasztalat is, ami bár kedvező volt, elsősre meglepőnek tűnt számomra: csak a görbületi tényezőket felhasználva a spektrális indexek számítási pontossága is jelentős mértékben javult. Végül is ez logikus, ha belegondolunk abba, hogy a nagyszámú zónakonfiguráció mindegyikében konzisztens módon volt más a spektrum és a görbületi tényező, azonban az, hogy mindez a hibák és a bizonytalanságok szintjén is észlelhető, mégiscsak figyelemreméltó. Ez a kedvező eredmény nem adódhatott volna akkor, ha az aszimptotikus tartomány kijelölése és a görbületi paraméter becslése nem azzal a megalapozott statisztikai módszerrel és gondossággal történt volna, amit a fenti bekezdésekben próbáltam érzékeltetni.

A ZR-6 reaktoron végzett mérések, azok dokumentált eredményei mára a VVER reaktorokkal foglalkozó reaktorfizikusok közösségének lépten-nyomon használt közkincsévé váltak a számítások validálása során. Ebben a fejleményben meghatározó szerepe volt a mérési kiértékelés módszereinek.



A Nukleáris Technikai Intézetben (2012)

Szatmáry Zoltán, a Műegyetem professzora

Aszódi Attila

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technikai Intézet

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 9. tel.: +36 1 463 4339

Szatmáry Zoltán professzort akkor ismertem meg, amikor a KFKI-s évtizedeket követő francia kutatóévei után visszatért Magyarországra és a Műegyetem professzora lett. Jomagam akkoriban a BME Gépészmérnöki Karának hallgatója, majd doktorandusza voltam, nem volt olyan kurzusunk, melyet ő tartott volna. A Nukleáris Technikai Intézetnek volt azonban egy paksi projektje, amiben meg kellett oldani egy termohidraulikai feladatot, erre kért meg Szatmáry professzor. Az együttműködésünk már ekkor nagyon jó volt, értékes tanácsokat kaptam tőle a feladat sikeres megoldásához. Aztán néhány hónappal később magához hívatott: azt mesélte, van egy nagyon kedves német professzor barátja Drezda mellett, Rossendorfban, aki segítséget kért egy furcsa eredményre vezető – nukleáris biztonsági relevanciával bíró – termohidraulikai kísérlet eredményeinek értelmezésében. Ki kellene utazni Drezdába, részt kellene venni a kísérletekben és írni kellene egy kódot, ami meg tudja magyarázni a kísérleti eredményeket. Ekkor ugyan már egy éve egy másik témán dolgoztam, de a kihívás felkeltette az érdeklődésemet, és igent mondtam. Ahogy az a jelen kötetben több írásban is tetten érhető, Szatmáry Zoltán nekem is más pályára állította a szakmai fejlődésemet ezzel a javaslattal, ugyanis már a legelején világossá vált, hogy olyan tudományos problémára lettem segítségével, amiből PhD dolgozatot lehetett írni, és az első 3 hónapos németországi tartózkodást továbbiak követték. Az első németországi út után pontosan 2 évvel készen volt a dolgozatom, és persze közben számos cikk is. Szatmáry professzor úr mindig hasznos tanácsokkal terelgette utamat. Nem sokkal a PhD dolgozat befejezése után azzal kerestem meg, hogy a Gépészkarról menjek át a BME TTK-ra az NTI-be, és építsem fel a termohidraulikai oktatást és kutatást. Szép feladat, nagy kihívás volt, így igent mondtam – azóta is együtt dolgozunk.

Szatmáry Zoltán műegyetemi munkájáról nagyon sok dolog mondható el, azonban ki kell emelni ezek közül, hogy ő volt az, aki a rendszerváltás utáni új atomtörvény előírásainak először feleltetett meg egy nukleáris létesítményt: az élet neki sorsolta ki azt a feladatot, hogy az első Időszakos Biztonsági Felülvizsgálatot (IBF) végigvigye az oktatóreaktorra. A feladatot nem mindennapi módon oldotta meg: amellett, hogy új alapokra helyezte az oktatóreaktor műszaki dokumentumait, számos mérést, elemzést, számítást maga hajtott végre, és maga is dokumentált. Így nem csak irányítója, aktív közreműködője is volt az Időszakos Biztonsági Jelentés készítésének. Olyan dokumentum csomagot hoztak akkor létre, ami ma is alapmű nálunk.

Szatmáry Zoltán jó értelemben véve grafomán: minden fontos szakmai dolgot hihetetlen igényességgel és hihetetlen sebességgel dokumentál. Ha adódik egy probléma, számára magától értetődik, hogy a megoldást számítógépen

dokumentumba írja, így az azonnal beépíthető egy jegyzetbe vagy tanulmányba. A bolognai kétszintű képzési rendszer bevezetése során a nukleáris energetikai ismeretek oktatását bevezettük az energetikai mérnökök képzésébe is, alapítottunk egy atomenergetika szakirányt. A mintatanterv elkészítésének végzetével valamikor májusban említettem Zolinak, hogy az energetikai mérnököknek másként kellene majd tanítani a reaktorfizikát, mert a mérnöki képzésben jóval kevesebb a matematika, mint a fizikusok képzésében. A nyári szünet végzetével elérkezett augusztus utolsó hete, amikor újra az összes oktató megjelent az egyetemen. Zoli jókedvűen (mint mindig), lebarbulva lépett be a szobámba, és – a rövid „hogy vagy, hogy vagy” párbeszéd után – lecsapott az asztalra egy kb. 200 oldalas dokumentumot. Meglepve kérdeztem, hogy mi ez. „Hát azt mondtad, hogy kell egy reaktorfizika tárgy mérnököknek, itt van hozzá a jegyzet.” A 2,5 hónapos nyári időszakban, a szőlő gondozása és a nyaralás közben „csak úgy melleleg” megírta a jegyzetet, amiből aztán több éven keresztül tanította a mérnök hallgatókat. Ma is ezt a jegyzetet használjuk...

Szatmáry professzor egyébként mindenben sokrétű. Oktatási tevékenysége nem csak a reaktorfizika tárgyra terjed ki: szakmérnöki tanfolyamokon a matematika oktatója is, a szokásos matematikai területeken belül kifejezetten nagy örömmel nyúl a matematikai statisztikai problémákhoz és a mérések kiértékeléséhez. Hosszú éveken keresztül tanította a BME nyelvi intézetében a szakfordító hallgatókat a műszaki angol nyelvre. Több szótár készítésében vett részt. Nyelvérzéke egyébként hihetetlen: orosz, spanyol, olasz, francia, német, angol nyelvek vannak a repertoárjában, természetesen mindet felső szinten bírja. De lehet, hogy nem vagyok teljesen tájékozott, és amióta utoljára beszélgettünk erről, még megtanult további nyelveket is...

Világra való nyitottságának egyik bizonyítéka, hogy imád utazni. Talán a Föld minden szegletében járt már, de különösen szereti Olaszországot és Egyiptomot. Több alkalommal volt szerencsém vele együtt utazni, ami hihetetlenül komoly intellektuális élmény, mert Szatmáry Zoli mindenről tud egy történetet, a földrajz, az irodalom és a történelem kiváló tudója.

Zárásként azt említeném meg, hogy 2004-ben tőle vettem át a BME Nukleáris Technikai Intézet igazgatói feladatait. Az átmenet folyamatát nagyon korrekten és nagy odafigyeléssel intézte. Minden segítséget megkaptam tőle az intézet vezetéséhez. Bármikor kérdezhettem tőle, de sosem szólt bele abba, amit csináltam, elterveztem. Egészen biztosan nem könnyű vezető személyiségként nézni azt, ahogy egy más stílusú vezető, más gondolatvilággal veszi át a korábbi helyünket, de Zoli ezt óriási belátással és intelligenciával

kezelte. Nagyon örülök annak, hogy mind a mai napig vele dolgozhatok, számíthatunk szakértelmére az NTI oktatási és kutatási feladatainak ellátásában.

Kedves Zoli! Isten éltesen sokáig! Évek óta foglalkoztat a gondolat, amit egyszer mondtál: ha az oktatóreaktor jelenlegi (még mindig eredeti) zónája eléri az üzemideje végét, nem leszerelni kellene a reaktort, hanem a meglévő épületben, a

meglévő biológiai védelemben, egy új reaktortartályba, új üzemanyag felhasználásával egy szubkritikus rendszert vagy egy zéró teljesítményű reaktort kellene építeni. Ez még sokáig szolgálhatná a hazai reaktorfizikai-reaktortechnikai oktatást-kutatást! Adja a Teremtő, hogy együtt valósíthassuk meg ezt a tervet!



Németországban (Balázs László és Gyurkócsa Csaba társaságában, 2000. július)

Szatmáry Zoltán egy hallgató és kolléga szemével

Kis Dániel Péter

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technikai Intézet
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 9. tel.: +36 1 463 4339

Első találkozás

A Professor Úrral első éves mérnök-fizikus hallgatóként találkoztam először. Sikeresen teljesítve az első szemeszter kisebb-nagyobb nehézségeit úgy gondoltam, már nagy probléma nem adódhat a jövőben, hiszen „ismerem a dörgést”. Természetesen tévedtem. A második szemeszter egyik meglepetés tárgya a *Bevezetés a mérési adatok kiértékelésébe* címet viselte. A meglepetés abban állt, hogy az eddigi minimális szakmai ismereteim mellett nem igazán tudtam sem a tárgy címét, sem pedig a tematikáját mihez kötni. Ebből következően izgatottan vártam az első előadást.

Sosem felejttem el az első találkozást. Február volt, kint még javában tombolt a tél, sőt ami azt illeti az R épület legfelső emeletének termeibe is benyomult a hideg. Az öreg épület elavult – még a fénycsőben sem túl nagy hatáskokkal működő – fűtésrendszere sorra vesztette a téli zimankóval folytatott ádáz csatákat. Sokan kabátban ültek a padsorok nyikorgó székein és várták az előadót. Egyszer csak határozott léptekkel, lobogó fehér laborköpenyben lendületesen belépett a Professor Úr. Az előadás során szépen vázolta a tárgy célkitűzéseit és a mérésekkel kapcsolatos problémákat, kihangsúlyozva, hogy már az egyetemi laboratóriumi méréseink alkalmával is kellő alaposággal és körültekintéssel kell a méréseket elvégezni, illetve az eredményeket értelmezni.

A könnyed, de körültekintő előadásmód azonnal magával ragadott. A viszonylag száraz matematikai levezetések előtt és alatt beszűrt kultúrtörténeti/nyelvészeti elmélkedések segítettek a témakör maradandó memorizálásában – ekkor még sajnos nem lelkesedtem túlságosan a matematikai levezetésekbe merülő témakörökért. Ha már a levezetések szóba kerültek, meg kell említenem egy igen fontos momentumot. Az említett előadáson egyszer egy igen nehéz bizonyítás végeztével (ha az emlékeim nem csalnak a Cramer-Rao egyenlőtlenség bizonyításáról volt szó) Professor Úr elégedetten letette a krétát és felénk fordulva a következőket mondta: „*Kedves Kollégák, mielőtt megkérdeznék, hogy a vizsgára kell-e tudni a levezetéseket, már most leszögezném: a levezetés a tananyag!*”. E kijelentés első hallásra ijesztőnek tűnhet, azonban erősen megalapozott, hiszen a tárgy célja a tetszőleges mérési adatok kiértékelésében szerzett jártasság elsajátítása, ez pedig a levezetések nélkül nem szerezhető meg (amint ezt a jövő is igazolta). A Professor Úr mindenesetre meggyőző volt, olyannyira, hogy a későbbi szemeszterekben meghirdetett speciális kurzusait nagy lelkesedéssel hallgattam végig.

A közös munka kezdete

Az egyetemi éveim során kissé eltávolodtam a nukleáris területtől és jobbra részecskefizikával foglalkoztam az ELTE kiváló oktatóinak szárnyai alatt. Az Élet aztán úgy hozta, hogy a diploma megszerzése után a Doktori Iskola helyett tudományos segédmunkatársi minőségben kezdtem dolgozni a BME Nukleáris Technikai Intézetében. A feladatomban az Oktatóreaktorral kapcsolatos dinamikai (tranzien) folyamatok szimulációjára alkalmas reaktorfizikai kód fejlesztése (termohidraulikával csatolt reaktorfizikai program) volt. A valóságban ez inkább javítást jelentett, mert az említett kód már létezett, csak éppen nem működött megfelelően. Örömmel és kíváncsisággal vettem bele magam a munkába, amely első lépésben a vizsgálandó folyamatok elméletének tanulmányozásával kezdődött. Lelkesedésem csak tovább fokozódott, mikor megtudtam, hogy akivel a problémán közösen dolgoznom kell, nem más, mint egyik kedves előadóm, Szatmáry Zoltán!

Az első kollegiális találkozásunk roppant barátságos hangulatban telt, mintha már évek óta együtt dolgoztunk volna. Tisztáztuk, ki mely részproblémával fog foglalkozni, nekem jutott a neutronfizikai kód, míg a Professor Úr a termohidraulikai rutinokon dolgozott. A hővezetési és neutronfizikai modulokkal szépen haladtunk, viszont az áramlási rutinokkal komoly probléma adódott. A probléma forrása részben a természetes áramlás numerikus kezeléséből fakadt, továbbá abból, hogy a hőátviteli folyamatok roppant érzékenyek a burkolat és a moderátor közti hőátadási tényező értékeire, amely csak nagy bizonytalansággal ismert. A munka eredménye több – a természetes áramlással megvalósuló hőátadási viszonyokról – a lehető legalaposabb matematikai precizitással készült tanulmány. A konklúzióink az volt, hogy a zóna természetes áramlással történő hűtésének minél pontosabb szimulációja érdekében a termohidraulikát jobb már egy speciálisan az áramlási problémákra fejlesztett kóddal kezelni (pl. APROS), amelyhez külső modulként csatoljuk a reaktorfizikai kódot.

Szatmáry Professor Úrral nagyjából 8 éve tartó munkatársi tapasztalatom alapján elmondhatom, hogy bármilyen tudományos kérdésről is legyen szó, ha valaki kikéri a véleményét vagy segítségét egy probléma megoldásában, akkor számára az ő ajtaja mindig nyitva áll. Sőt a lehető legnagyobb alaposággal fog a kérdéssel foglalkozni. Erre jó példa, mikor az egyik munkatársam egy új mérési eljárás kapcsán kérte ki a Professor Úr véleményét a mérési kiértékeléssel kapcsolatban, aki természetesen örömmel segített. Egy hét elteltével Szatmáry Professor Úr a tőle megszokott lendülettel odalépett az említett kollégához és átnyújtott neki egy szépen megszerkesztett, összefűzött kb. 10

oldalal tanulmányt, amely kellő alapossággal és matematikai részletességgel taglalta a kérdéses probléma megoldását. E példa jól szemlélteti azt a minden részletre kiterjedő igényességet, amely Szatmáry Zoltán tudományos munkáit általában jellemzi.

DIMITRI

Professzor Úrral végzett közös munkánk legújabb, még a mai napig is nyitott fejezete egy szóval jellemezhető: DIMITRI. Az oroszosan csengő betűszó a francia *Diffusion en Milieux TRIdimensionnels* (diffúzió háromdimenziós közegekben) kifejezést takarja, amely – amint erre az elnevezés is utal – egy kevéscsoport 3D-s diffúziós közelítésen alapuló reaktorfizikai kód. Ez így önmagában még nem számít igazán újdonságnak, viszont a program alapvető célja nem is a szokásos stacionárius sajátértékprobléma megoldása. Az alapvető célkitűzés a reaktorok tervezésénél és megvalósításánál szükségszerűen megjelenő technológiai bizonytalanságok determinisztikus vizsgálata, azaz a gyártási és kivitelezési folyamatokban fellépő, a tervezett megvalósítástól való kis eltérések (dúsítás, anyagi összetétel, rácsosztás stb.) reaktivitásra és fluxusra gyakorolt hatásának szimulálása. Jelenleg nem érhető el olyan kód, amely e bizonytalanságok, vagy egyéb, a reaktorban fellépő kis perturbációk hatását determinisztikus algoritmussal, nagy pontossággal le tudná írni. Sőt, nem csak hogy nincs elérhető kód, de az ehhez szükséges matematikai elmélet kidolgozása sem található meg a nemzetközi irodalomban. A szükséges tapasztalatok híján lépten-nyomon új problémák bukkannak fel, amelyek megoldása sok időt és energiát igényel. De pont ebben rejlik a munka igazi szépsége.

A kitűzött feladat grandiózus. Főleg annak tükrében, hogy munka oroszán részét egyetlen személy végzi: Szatmáry Zoltán. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy a 2008 és 2012 közti időszakban összesen 6 tanulmány készült a kódfejlesztéssel kapcsolatban, átlagosan részenként 60 oldal terjedelemben. Jómagam a matematikai algoritmus ellenőrzésében és az elkészült program különböző rutinjainak tesztelésében segédezem.

A pálcakód közelítés esetére a reaktivitás- és fluxus-perturbációkra vonatkozólag tesztszámításokat végeztünk és az eredményeket kísérleti adatokkal is összevetettük. Ez utóbbiakat a ZR-6 program keretében végzett mérésekből vettük (zárójelben jegyzem meg, hogy e kísérleti program vezetője szintén Szatmáry Zoltán volt) [1][2]. A konkrét számítások a következő technológiai bizonytalanságokra vonatkoztak: rácsállandó; az urán dúsítása; az UO_2 pasztilla sűrűsége; a fűtőelem-burkolat külső átmérője; az UO_2 pasztilla átmérője; a bórsav koncentrációja; az aktív zóna hőmérséklete (izoterm). A DIMITRI kóddal számolt eredmények nagy pontossággal visszaadták a mérési eredményeket.

Távlati terv a kód továbbfejlesztése a homogenizált régiókra vonatkozó perturbációk kezelésének irányába, továbbá az időfüggés beépítése a kódba, így tranziens jelenségek vizsgálatára is lehetőség nyílhat.

Záró gondolatok

Záró gondolatok

A Szatmáry Zoltán Professzor Úrral együtt dolgozott idő alatt bepillantást nyerhettem egy, a szó klasszikus értelmében vett igazi természettudós munkásságába. Precizitás, körültekintés, objektivitás, türelem és roppant kitartás jellemzi munkáját. Kiváló tulajdonságai nem csak a munka szférájában nyilvánulnak meg. Nem árulok el nagy titkot, ha elárulom, hogy az általa készített bornál csak törkölypálinkája finomabb, és ez nem túlzás!

Záró mondatként csak annyit írnék: további erőt és egészséget a jövőhöz! Isten éltesse Professzor Úr!

Irodalomjegyzék

- [1] *Experimental Investigations of the Physical Properties of VVER-type Uranium-Water Lattices, Final Report of TIC, Vol. 1, 1985, Budapest.*
Experimental Investigations of the Physical Properties of VVER-type Uranium-Water Lattices, Final Report of TIC, Vol. 3, 1991, Budapest.
Experimental Investigations of the Physical Properties of VVER-type Uranium-Water Lattices, Final Report of TIC, Vol. 4, to be published.
- [2] *Zoltán Szatmáry, Supplement to the Final Report of TIC, Additional data amendments, reevaluations, Akadémiai Kiadó, Budapest (2001)*



A Nukleáris Technikai Intézet szemináriumán (2004)



Az oktatóreaktor vezénylőtermében (2005)



A Nukleáris Technikai Intézetben (2008)



A Magyar Nukleáris Társaság Szimpóziumán (2005)

