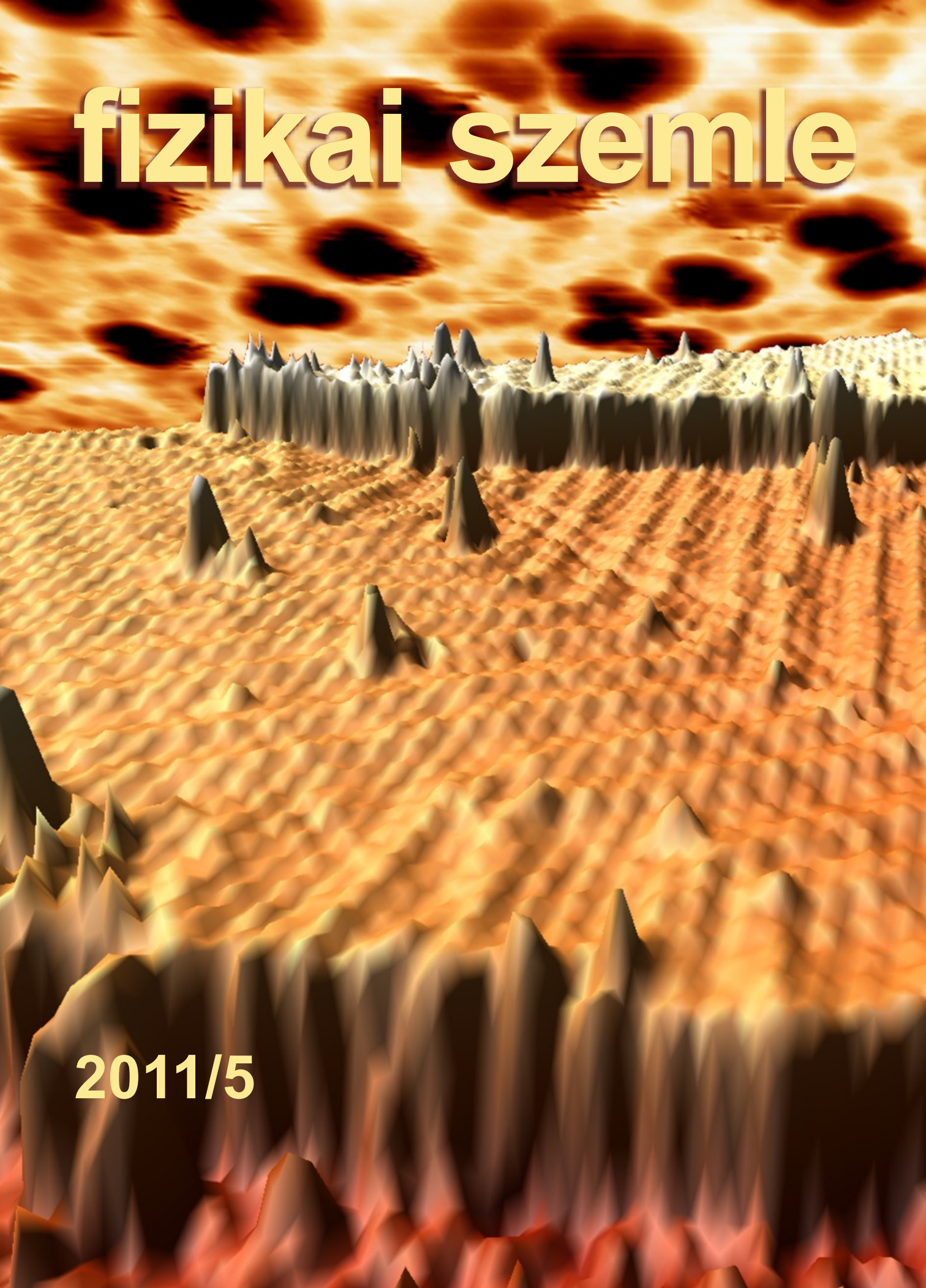


fizikai szemle



2011/5

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat
havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: A Magyar Tudományos
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,
a Nemzeti Erőforrás Minisztérium,
a Magyar Biofizikai Társaság,
a Magyar Nukleáris Társaság
és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, Czitrovsky Aladár,
Faigel Gyula, Gyulai József,
Horváth Gábor, Horváth Dezső,
Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Lendvai János,
Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin,
Simon Péter, Sükösd Csaba,
Szabados László, Szabó Gábor,
Trócsányi Zoltán, Turiné Frank Zsuzsa,
Ujvári Sándor

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Két pásztázó alagútmikroszkópos
felvételtől összeállított művészi
kompozíció. Az egyes felvételeken
arany alapra – Au(111) – felvitt
különböző szerves molekulák eltérő
felvételi körülmények között készített
STM-leképezései láthatók. (©Sieu Ha,
Harvard University, Cambridge, USA)

TARTALOM

<i>Fábián Margit:</i> Urántartalmú boroszilikát üvegek szerkezetvizsgálata diffrakciós és RMC szimulációs módszerrel	145
<i>Cserbáti András:</i> A Stuxnet vírus és az iráni atomprogram	150
<i>Radnai Gyula:</i> A mikrovilág első felfedezői – II.	156

VÉLEMÉNYEK

<i>Szergényi István:</i> Energia, civilizáció, kultúra, túlélés – I.	158
--	-----

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Beke Tamás:</i> Termoakusztikai érdekességek	165
<i>Daróczy Csaba Sándor:</i> Akiket az elektromosság szikrája megcsapott...	169
<i>Cseresnyés József:</i> A pécsi középiskoláknak ajándékozott digitális Geiger-Müller-számláló használatáról	172
Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan – szaktanári konferencia a természettudományok tanításáról	173

KÖNYVESPOLC

HÍREK – ESEMÉNYEK	177
--------------------------	-----

N. Fábián: Structure analysis of uraniumloaded borosilicate glasses using diffraction
and RMC-simulation methods

A. Cserbáti: The Stuxnet virus and the Iranian Atom Programme

G. Radnai: The early discoverers of the micro world – Part II.

OPINIONS

I. Szergényi: Energy, civilization, culture, survival – Part I.

TEACHING PHYSICS

T. Beke: Thermoacoustical effects of interest

Cs. S. Daróczy: On the electric shocks suffered in my childhood

J. Cseresnyés: The use of digital G–M-counter devices in secondary schools at Pécs

BOOKS, EVENTS

N. Fábián: Die Strukturanalyse von uranhaltigen Borosilikat-Gläsern mit Diffraktions-
und RMC-Simulationsmethoden

A. Cserbáti: Der Virus Stuxnet und das Atomprogramm Irans

G. Radnai: Die ersten Entdecker der Mikrowelt. Teil II.

MEINUNGSÄUSSERUNGEN

I. Szergényi: Energie, Zivilisation, Kultur, Überleben. Teil I.

PHYSIKUNTERRICHT

T. Beke: Interessante Effekte der Thermoakustik

Cs. S. Daróczy: Über die in meiner Kindheit erlittenen elektrische Schläge

J. Cseresnyés: Anwendungen einer digitalen G–M-Zählerschaltung in Mittelschulen
der Stadt Fünfkirchen

BÜCHER, EREIGNISSE

M. Фабиан: Методы дифракции и RMC-моделирования для определения структуры
боросиликатных стекол содержащих ураний

A. Черхати: Вирус Стукнет и атомная программа Ирана

Д. Раднаи: Первые изобретатели микромира – часть вторая

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

И. Сергени: Энергия, цивилизация, культура, переживание – часть первая

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

T. Беке: Интересные явления термоакустики

Ч. Ш. Дарочи: Электрические удары в моём детстве

Й. Черешнев: О применении цифрового ГМ-счетчика в средних школах г. Печ

КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



URÁNTARTALMÚ BOROSZILIKÁT ÜVEGEK SZERKEZETVIZSGÁLATA DIFFRAKCIÓS ÉS RMC SZIMULÁCIÓS MÓDSZERREL

Fábián Margit
MTA SZFKI

A kérdés, hogy mi legyen a világszerte folyamatosan felhalmozódó radioaktív hulladék-készletekkel, óriási gondot jelent. Mostanra általánosan elfogadott műszaki megoldás az, hogy az atomhulladékot mélyen fekvő geológiai tárolóhelyeken eltemetik, vagyis elszigetelik a környezettől. Munkánk során radioaktív hulladékok tárolására alkalmas üvegösszetételt kerestünk, amely stabil, hosszú idejű tárolást tud biztosítani. Azt találtuk, hogy a több-komponensű boroszilikát üvegek alkalmassak a radioaktív magok stabil befogadására, így potenciális tárolóanyaggá válhatnak [1]. Előállításuk gazdaságos, fokozott óvatosság mellett nem igényel különleges előállítási feltételeket, nem oldódik savas, illetve lúgos közegben, jó termikus tulajdonságokkal rendelkezik.

Ahhoz, hogy egy több-komponensű üvegrendszerbe az UO_3 beépülését meg tudjuk határozni, ismerünk kell az egyszerűbb minták lehetséges szerkezetét. Ezért mintasorozatainkat szisztematikusan, egy-egy új komponenssel kibővítvé állítottuk elő. A két komponensű, egyszerű összetételekből kiindulva vizsgáltuk a három-, öt- és hatkomponensű üvegek szerkezetét. Először a B_2O_3 és SiO_2 alapoxidok szerkezetét modelleztük a fordított Monte Carlo (RMC) szimulációs módszerrel [2], hogy saját eredményekre tudjunk támaszkodni a bonyolultabb összetételek tanulmányozásakor. Még több és pontosabb információval gazdagodtunk a $70\text{SiO}_2 \cdot 30\text{Na}_2\text{O}$ és $(75-x)\text{SiO}_2 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 25\text{Na}_2\text{O}$ ($x = 5-15$ mol%) minták szerkezeti vizsgálata során. Mintáinknál ugyanazokat az előállítási feltételeket alkalmaztuk, ugyanazokat a mérési eljárásokat használtuk és hasonló módon történt a kiértékelés is, ami nagyban hozzájárult ahhoz, hogy megfelelően tudjuk összehasonlítani az eredményeket, illetve értelmezni a kapott lehetséges szerkezeteket.

Legfőbb célunk a különböző radioaktív hulladékok tárolására megfelelő üvegmatricát találni. Meghatá-

rozni a maximálisan adalékolható UO_3 mennyiséget, vizsgálni az urán beépülését és az urán környezetét, valamint hatását az üveg stabilitására és a higroszkopikus tulajdonságaira.

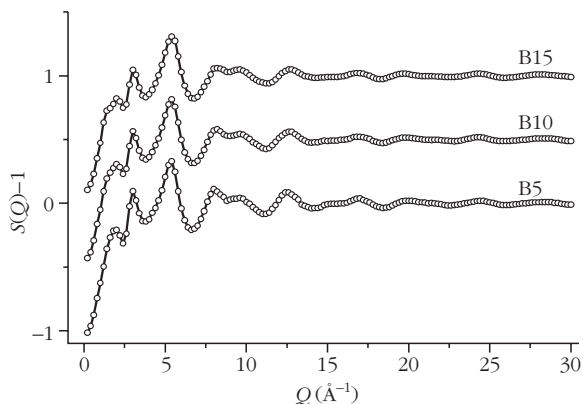
Az atomi szerkezet meghatározására neutron- és röntgendiffrakciós méréseket végeztünk, az adatok kiértékelésére a fordított Monte Carlo szimulációs módszert használtuk [2], amely az amorf rendszerek leírására széles körben alkalmazott eljárás. Azonban egy ilyen, sok különböző atomot tartalmazó rendszer nem megszokott az RMC modellezésnél. Ezek vizsgálata kihívást jelent, az eddigi tanulmányokat tekintve nincs jól bevált séma.

Mintaelőállítás, kísérleti háttér

Az üvegmintákat olvasztással állítottam elő, kiinduló anyagként minden esetben por oxid-keveréket használtam. Kiindulási anyagaink a SiO_2 , B_2O_3 , Na_2CO_3 , BaO , ZrO_2 és UO_3 voltak. A természetes bór nagy neutronabszorpciója miatt B-11 izotópban dúsított (99,6%) diborátot alkalmaztunk (Sigma-Aldrich Co.).

Az olvasztásra magas hőmérsékletű (1600 °C-ig fűthető) KOII típusú elektromos fűtésű kályhát használtam, 1350–1450 °C hőmérséklet-tartományban. Az olvasztást platinatégelyben végeztem, az olvadék homogenitását cseppellenőrzéssel figyeltem. Természetes uránt használtunk, ami radioaktív. Mintáink aktivitása ugyan kicsi, körülbelül 2,7 kBq/g, de fokozott figyelmet igényeltek.

Jelen cikkben a mátrixüveg és az U-tartalmú mintasorozatokra kapott eredményeket mutatom be: a $(65-x)\text{SiO}_2 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 25\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{BaO} \cdot 5\text{ZrO}_2$ ($\text{SiB}(5-10-15)\text{NaBaZrO}$ rövidítést, illetve B5, B10, B15 jelölést) és a $70\text{s}\%[(65-x)\text{SiO}_2 \cdot x\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 25\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{BaO} \cdot 5\text{ZrO}_2] + 30\text{s}\%\text{UO}_3$



1. ábra. A B5, B10, B15 üvegrendszer kísérleti és RMC szimulációval illesztett neutrondiffrakciós szerkezeti függvényei. Az üres karika a kísérleti görbét jelzi, míg a fekete vonal az RMC-t.

(SiB(5–10–15)NaBaZrUO rövidítést, illetve a UB5, UB10, UB15 jelölést alkalmazom a továbbiakban), ahol mindkét esetben $x = 5, 10, 15$ mol%. A diffrakciós méréseket minden esetben por mintán végeztem, ehhez a tömbi amorf mintát achátmoszárrban porítottam.

A vizsgált több-komponensű mintáink könnyű és nehéz atomokat egyaránt tartalmaznak, ezért indokoltak voltak a neutron- és röntgendiffrakciós mérések. A könnyű atomok környezetére (B, O, Si) a neutron-diffrakció ad pontosabb szerkezeti információt, míg a nehéz atomokra (Ba, Zr, U) a röntgendiffrakciós mérésből nyerhetünk több információt. A neutron-diffrakciós méréseket a Budapesti 10 MW Kutatóreaktornál működő PSD elnevezésű [3] neutron-diffraktométeren végeztem. A mintán szóródó monokromatikus neutronnal a hullámhossza $\lambda_0 = 1,068$ Å volt. A teljes szórási spektrumot $Q = 0,45\text{--}9,8$ Å⁻¹ tartományban mértem, ahol $Q = 4\pi\sin\Theta/\lambda$, Θ a Bragg-szög, λ a hullámhossz. Mintáink egy részét megmértem a Los Alamos-i impulzus-neutronforrásnál működő NPDF berendezésen is [4]. A repülési idő technikánál a hullámhosszat változtatjuk a detektorok állandó szöghelyezete mellett. Ezek a mérések lehetővé teszik a mérési tartomány kiterjesztését nagy Q -tartományig, jellemzően 30–50 Å⁻¹-ig. Ennek előnye, hogy a valós r -térben a $g(r)$ atomi párkorrelációs függvények számításánál jó felbontást kapunk ($\Delta r = 2\pi/Q_{\max}$)¹. A budapesti PSD és a Los Alamos-i NPDF mérések adatainak összeillesztésével kiszámoltuk az $S(Q)$ szerkezeti függvényt.²

A röntgendiffrakciós méréseket a hamburgi Desysinkrotronnál működő BW5 röntgen-diffraktométeren végeztem [5], ahol a monokromatikus hullám-

hossz $\lambda_0 = 0,113$ Å volt, 109,5 keV energián. Valamennyi mintát a $Q = 0,5\text{--}25$ Å⁻¹ szórási tartományban mértük. Az adatok feldolgozásánál figyelembe vettük a háttér- és abszorpciós korrekciókat. A két fajta diffrakciós mérés együttes kiértékelését az RMC szimulációs programba történő beépítéssel végeztük.

Kísérleti eredmények és következtetések

SiB(5–10–15)NaBaZrO üvegek

Több-komponensű minták esetén az egyes atompárokat jellemző $g_{ij}(r)$ parciális szerkezeti függvények³ meghatározásához a fordított Monte Carlo (RMC) módszert használjuk, amely rendezetlen kondenzált rendszerek diffrakciós spektrumainak értelmezésére széles körben alkalmazott eljárás [2, 6]. Az RMC szimuláció során részecskéket mozgatunk egy szimulációs cellában, véletlenszerűen és időtől függetlenül úgy, hogy a rendszer jellemzőiből számolt szerkezeti függvény a kísérleti diffrakciós adatokkal a lehető legjobban egyezzen. A dobozban lévő részecskék háromdimenziós koordinátarendszerben való elhelyezkedéseinek összességét tekintjük a részecskekonfigurációnak. Szimulációs dobozunk minden esetben 5000 atomot tartalmazott. A szimulációs program felépítéséhez felhasználtuk a korábban lefuttatott egyszerűbb összetételű minták eredményeit [7–9]. A jó illeszkedés eléréséért kényszereket alkalmaztunk, az atomi távolságok megkötése mellett koordinációs kényszereket, ezen adatok ismerete előző munkáink eredménye [8, 9]. Az 1. ábra az RMC modellezéssel illesztett neutrondiffrakciós szerkezeti függvényeket mutatja be a B5, B10, B15 mátrixüvegekre.

Az RMC program által generált szerkezeti függvények mindhárom minta esetén jó egyezést mutatnak a kísérleti spektrumokkal, ugyanakkor azt is megfigyelhetjük, hogy a minták szerkezeti függvényei hasonló jellegűek. Az RMC szimulációs módszerrel meghatároztuk az atompárok parciális eloszlásfüggvényeit és a koordinációs számeloszlásokat.⁴ Az alapszerkezetet felépítő Si és B üvegalakító atomok környezetére vonatkozóan a 2. ábra a Si-O és B-O atomi parciális párkorrelációs eloszlásfüggvényeket és a koordinációs számeloszlást mutatja be.

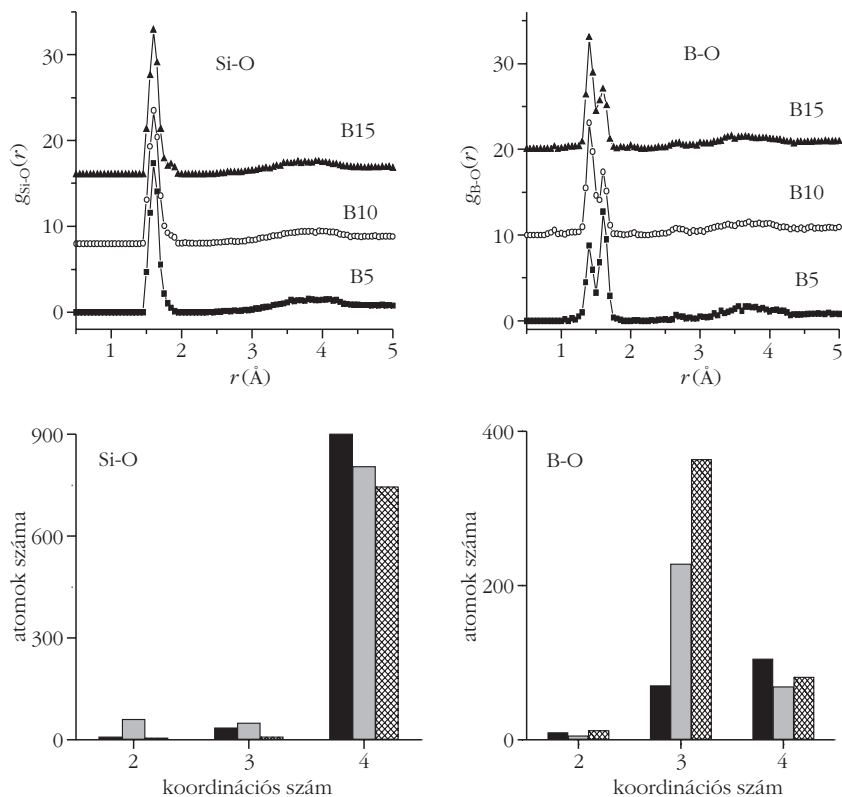
Az $r_{\text{Si-O}} = 1,60 \pm 0,01$ Å távolságra, valamint a koordinációs számokra kapott 3,9; 3,7; 3,9 értékek a SiO₄ tetraéderes kialakulásának valószínűségét mutatják, amit alátámaszt a Si-Si stabilan kialakuló 3,0 Å távolsága is. Ezek az értékek az előzőleg vizsgált amorf SiO₂ és 70SiO₂·30Na₂O munkáink eredményével teljes összhangban vannak [8]. A B-O elsőszomszéd-távolságra kapott két érték közül az egyik, az eddig ismert $1,40 \pm 0,01$ Å távolságnak felel meg, a második

¹ Nemkristályos, azaz amorf (üveg) állapotú anyagok szerkezetének jellemzése a $g(r)$ atomi párkorrelációs függvényt használjuk, ami megadja annak valószínűségét, hogy az $r = 0$ helyen lévő atomtól r távolságban lévő másik atom milyen valószínűséggel fordul elő. Mivel izotróp rendszerekről van szó, r skaláris mennyiség. Az alkalmazott formalizmust részletesen leírtuk több cikkünkben [9].

² Az $S(Q)$ szerkezeti függvény a szórt intenzitáseloszlásból számolt koherens, rugalmas szórás normált alakja, figyelembe véve a háttér, abszorpció és az adott mérőberendezésre jellemző egyéb korrekciós tényezőket.

³ A $g_{ij}(r)$ parciális párkorrelációs függvény megmutatja, hogy egy i típusú részecskétől r távolságban a j típusú részecskék lokális sűrűsége hogyan aránylik az j típusú részecskék átlagos sűrűségéhez.

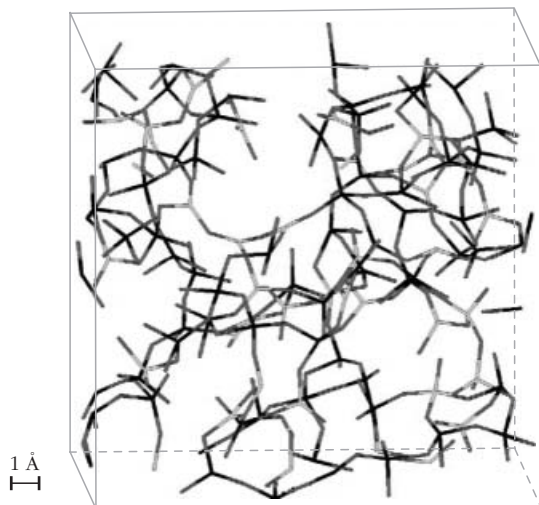
⁴ A $K_{\text{Sz-}ij}$ koordinációs szám megadja, hogy egy i típusú atomot átlagosan hány j típusú atom vesz körül egy megadott távolságtartományban.



2. ábra. A Si-O és B-O parciális párcorrelációs függvények és koordinációszám-eloszlások RMC modellezéssel számolva a B5 (fekete), B10 (szürke) és B15 (rácsos) sorozatra.

$1,60 \pm 0,01$ Å távolság pedig új eredményként jelenik meg, amelyre irodalmi utalást nem találtunk. A B-atom 3,5; 3,1; 3,15 koordinációs számait meghatározva és eloszlásukat figyelembe véve azt mondhatjuk, hogy trigonális BO_3 (^{11}B) és tetraédres BO_4 (^{10}B) egységek kialakulásaira van lehetőség. A második $r_{\text{B-O}} = 1,60$ Å csúcs értéke pontosan megegyezik az $r_{\text{Si-O}} = 1,60$ Å távolsággal, ez alapján azt mondhatjuk, hogy négyes koordinátságú BO_4 és SiO_4 szerkezeti egységek kapcsolódnak össze. Az első $1,40$ Å csúcsot feltehetően a ^{11}B koordinációjú B egységek, míg a másod-

3. ábra. A B15 minta szerkezeti ábrázolása: a Si-B-O kötések megjelenítve, ahol a Si (fekete), B (világos szürke) és O (sötét szürke).

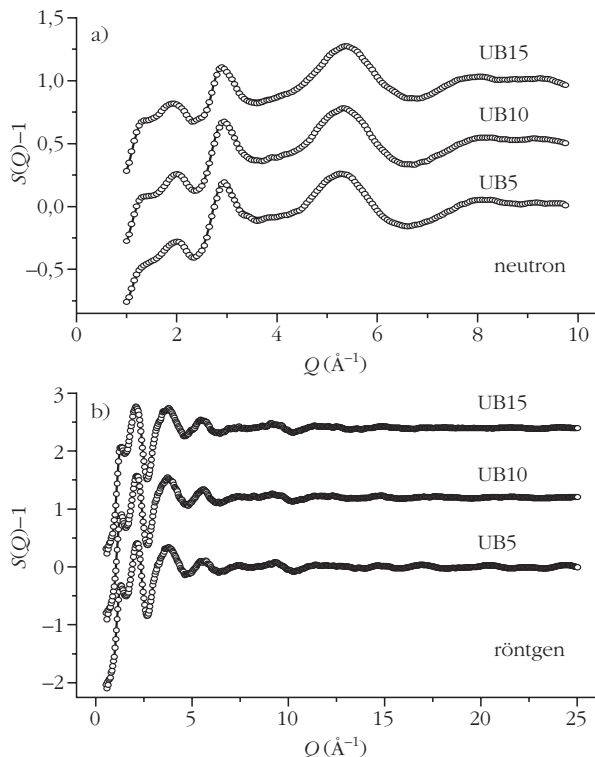


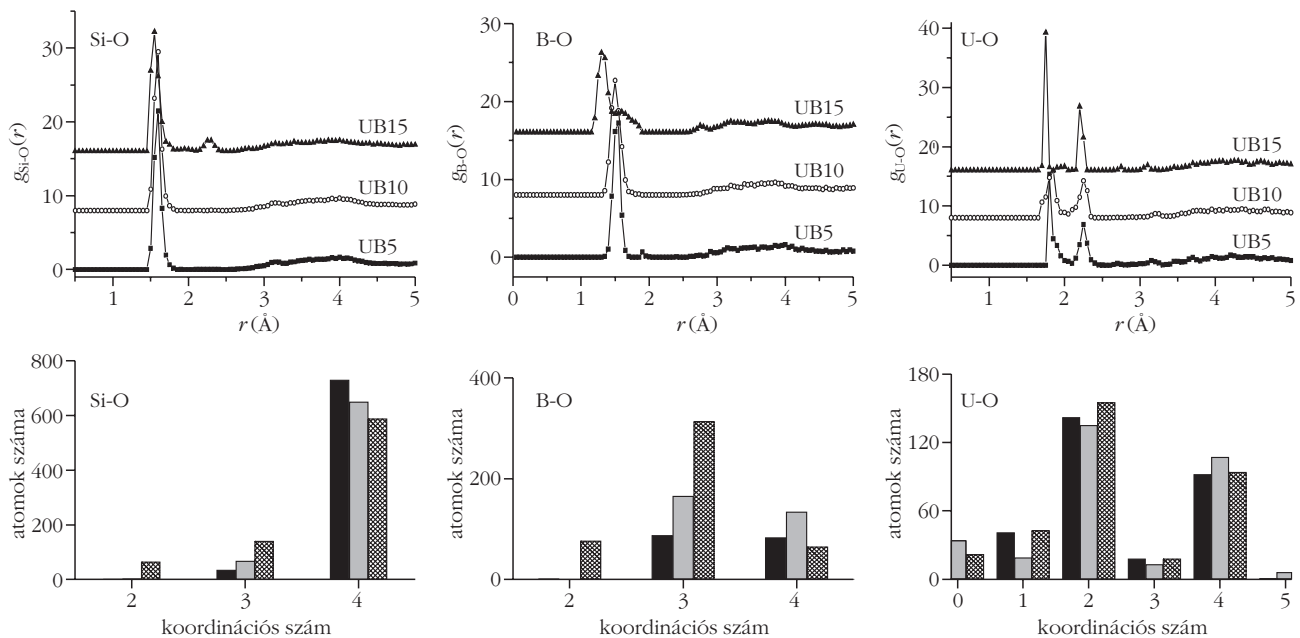
dik $1,60$ Å csúcsot vegyesen ^{11}B és ^{10}B egységek alkotják. Ebből arra következtettünk, hogy a szerkezet felépítésében kevert állapot jelenik meg, ahol a szerkezetépítő egységek a $^{11}\text{B-O-}^{10}\text{Si}$ és $^{10}\text{B-O-}^{11}\text{Si}$ vegyes láncot alkotják. A szerkezeti egységek egymáshoz való kapcsolódása látható a 3. ábrán, mindezt – az ábrázoló program korlátai miatt – 500 atomra vonatkoztatva. A SiO_4 tetraédres egységek kialakulása mellett megfigyelhető a trigonális BO_3 -ra és a tetraédres BO_4 -re jellemző egységek kialakulása, az így kialakuló üregek biztosítják a nagy radioaktív magok stabil beépülését.

SiB(5–10–15)NaBaZrUO üvegek

A fent bemutatott mátrixüveg szerkezete az uránoxidral bővül. Fontos megjegyezni, hogy az uránt tartalmazó mintasorozatunk közül egy mintánk sem volt higroszkópos, mint ahogy a mátrixsorozatunk mintái sem. Jóllehet, az előállításukat követően exikátorban tároljuk, de több hónapnyi (most már évnyi) idő elteltével sem mutattak higroszkópos jeleget. Mintáinkat félévente neutrondiffrakciós méréssel ellenőriz-

4. ábra. Az UB5, UB10, UB15 minták neutron- és röntgendiffrakciós szerkezeti függvényei, RMC illesztést vonal, a kísérleti görbét karika jelöli.





5. ábra. Parciális párkorrelációs függvények és a koordinációszám-eloszlások az UB5 (fekete), UB10 (szürke) és az UB15 (rácsos) sorozatra.

zük, minden eddigi esetben amorf jellegű spektrumot kaptunk; nem kristályosodnak át, ez stabil szerkezetre utal. Az urános sorozat mintáit a PSD neutron-diffraktométeren ($\lambda_0 = 1,068$ Å) és a BW5 röntgen-diffraktométeren ($\lambda_0 = 0,113$ Å) mértem meg. Az urán radioaktivitása miatt adminisztrációs akadályokba ütköztünk, ezért ezt a sorozatot nem sikerült kiterjesztett Q -tartományon, az NPDF berendezésén megmérni. Az adatok feldolgozására ez esetben is az RMC szimulációs programot használtam.

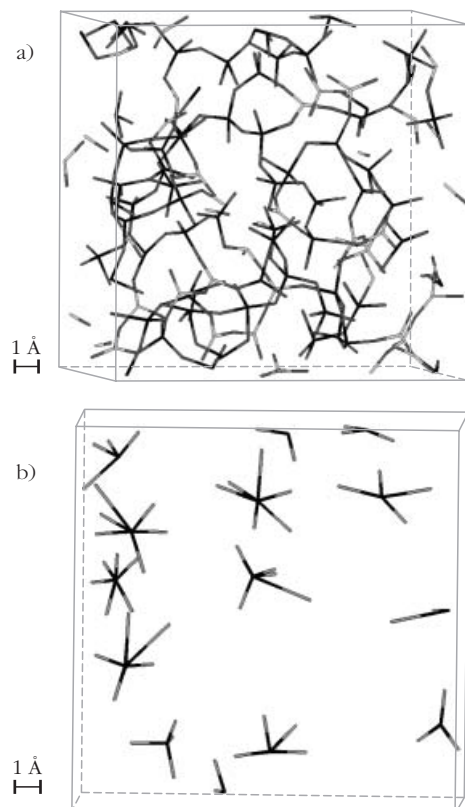
A 4. ábrán a neutron- és röntgendiffrakciós szerkezeti függvények illesztését mutatom be az UB5, UB10, UB15 sorozatra.

Ha ezeket a neutroindiffrakciós szerkezeti függvényeket összevetjük a korábban tanulmányozott mátrixsorozat szerkezeti függvényeivel az azonos Q -tartományon, hasonlóság figyelhető meg a két sorozat között. Ez arra utal, hogy az UO_3 bevitelével az üveg szerkezet lényeges elemei nem változnak.

Az RMC programot a mátrixsorozatnál kapott eredmények segítségével építettem fel, a mindkét minta sorozatnál jelenlevő parciális párkorrelációs függvények hasonló karakterisztikát adnak és hibán belül azonos értéknél alakítják ki a csúcsokat. A Si-O ($1,60 \pm 0,01$ Å) és a B-O ($1,35/1,55 \pm 0,1$ Å) elsőszomszéd-távolságok nagyon jó egyezést mutatnak a mátrixüvegnél kapott eredményekkel, ami azt bizonyítja, hogy a megismert alapszerkezet nem változik az UO_3 bevitelével. Az 5. ábra a parciális párkorrelációs függvényeket mutatja be a három mintára. Mindhárom minta esetén az U-O parciális függvényre nagyon élesen felhasadó két csúcsot kapunk; egy kisebb távolságnál kialakuló nagyobb intenzitású maximum 1,8; 1,84; $1,75 \pm 0,1$ Å értékeknél, míg a második csúcs magasabb értéknél kisebb intenzitással alakul ki, de mindhárom minta esetén hibán belül azonos távolságnál, 2,24; 2,24; $2,2 \pm 0,1$ Å, az UB5, UB10, UB15 sor-

rendnek megfelelően. Irodalmi adatok alapján kristályos anyagokban uranil ion $[UO_2]^{2+}$ formálódik U-O_{axiális} 1,8 Å távolsággal, ami jó egyezést mutat eredményünkkel. A második csúcs igen stabil és szimmetrikus, ami megfeleltethető az uranil ion U-O_{ekvatoriális} távolságának, jellegzetesen 2,2–2,24 Å értékeknél. Az

6. ábra. a) Az UB10 minta Si-B-O atomok szerkezeti ábrázolása; ahol a Si (fekete), B (világos szürke) és O (sötét szürke). b) Az U-atom környezete az UB10 mintára, ahol az U (fekete) és az O (szürke).



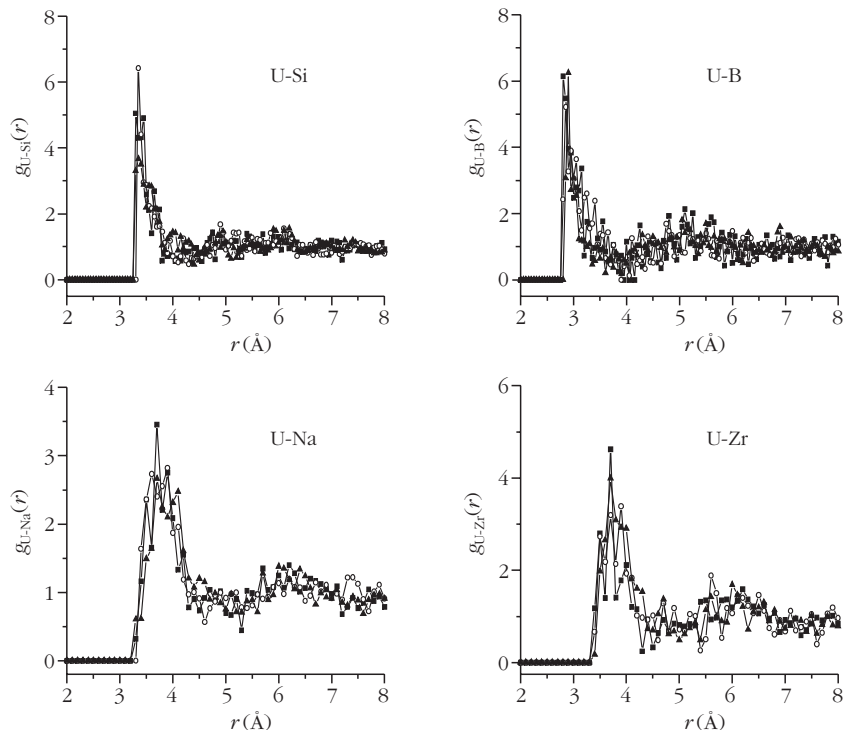
RMC-vel számolt átlagos koordinációs számokra: $K.Sz_{Si-O} = 3,95; 3,90; 3,64$; a $K.Sz_{B-O} = 3,47; 3,45; 3,1$ értékeket kapunk, ami igen jól egyezik a mátrixüvegnél kapott Si-, B-atomok koordináltságával. Ezen értékekből azt a következtetést vonjuk le, hogy az urántartalmú üvegek alapszerkezetét is $^{[3]B}$ és $^{[4]B}$ koordinációjú B-atomok vegyes trigonális és tetraéderez $^{[3]B-O-Si}$ és $^{[4]B-O-Si}$ környezetek alkotják (6.a ábra).

Az uránatom környezetére a koordinációs számokból következtethetünk. A $K.Sz_{U-O} = 5,39; 5,55; 4,93$ értékeket kaptuk. Irodalmi adatok alapján azt tudjuk, hogy az U(VI), U(V) és U(IV) koordináltsággal vesz részt vegyületeiben, a kapott eredményeink egyezők az irodalmi adatokkal (6.b ábra). Azt mondhatjuk, hogy a rövidebb 1,84 Å távolságnál az U-atom kettő O-atomot koordinál axiális pozícióban, a magasabb értéknél kialakuló 2,24 Å távolságban három, többségben négy oxigénatomot von magához az ekvatoriális pozíció kialakításáért.

Mindhárom minta esetén erős korreláció figyelhető meg az U-atom és a Si, B üvegalkotó, a Na módosító és a Zr stabilizáló atomok között meglepően alacsony értékeknél, jellegzetesen 2,85–3,7 Å távolságoknál. A 7. ábrán a másodsomszéd-távolságoknál formálódó U-Si, U-B, U-Na és az U-Zr parciális atomi párkorrelációs függvényeket láthatjuk.

Összefoglalás

Sikerült előállítani olyan több-komponensű mátrix-üveget, amely alkalmas lehet a radioaktív magok stabil befogadására. Meghatároztuk az 5-komponensű mátrixüveg szerkezetét jellemző legfontosabb atomi elsőszomszéd-távolságokat és a koordinációs szám-eloszlásokat. Megállapítottuk, hogy a mátrixüveg szerkezeti felépítésében elsősorban a tetraéderez koordináltságú $(SiO_4)^{4-}$ egységek játszanak fontos szerepet, míg a bór 3-as és 4-es koordináltságú oxigénkörnyezetekben helyezkedik el. A bór egy része beépül a Si-alapú hálószerkezetbe és $^{[3]B-O-^{[4]Si}}$, illetve $^{[4]B-O-^{[4]Si}}$ vegyes láncok alakulnak ki. Előállítottuk és vizsgáltuk a 6-komponensű urántartalmú üvegsorozatot, amely az eddig ismert legnagyobb mennyiségben képes UO_3 -t befogadni. A neutron- és röntgendiffrakciós mérések kiértékelése során azt kapjuk, hogy nagyon stabil, amorf rendszer jön létre. Az urántartalmú minták alapszerkezetének felépítését tetraéderez SiO_4 egységek és vegyes trigonális BO_3 és tetraéderez BO_4 egységek teszik lehetővé; a vegyes láncszerű váz kialakulása biztosítja az U-atom beépülését.



7. ábra. Éles másodsomszéd-távolságokat kapunk az U-atom és az üvegalkotó (Si, B), a módosító (Na) és a stabilizáló (Zr) atomok között az UB5 (kocka), UB10 (karika) és az UB15 (háromszög) mintasorozatra.

Az üveg alapszerkezete nem változik az U-atom bevitelével. Az U-O atomi parciális korrelációs függvény két elsőszomszéd-távolságnál mutat éles eloszlást. A karakterisztikus másodsomszéd-távolságok kialakulása nagyfokú szerkezeti stabilitásra utalnak, ahol az U-atom O-atomon keresztül kapcsolódik közvetlenül az üvegeképző, módosító és stabilizáló Si-, B-, Na-, Zr-atomokhoz. Az U-atom átlagosan 5,6 O-atomot koordinál. Ezek az eredmények arra engednek következtetni, hogy az U az alapszerkezetbe épül be és vesz részt a szerkezetfelépítésben, így stabilizálva a rendszert. Vizsgálataink alapján feltételezhető, hogy a boroszilikát üvegek a bemutatott összetétellel radioaktív hulladékok potenciális tárolóanyagaként használhatók, jelentős gazdasági és környezeti megoldásokat kínálva a nagy aktivitású radioaktív hulladékok biztonságos tárolására.

Irodalom

1. Chun K. S., Kim S. S., Kang C. H., *Journal of Nuclear Materials* 298 (2001) 150.
2. McGreevy R. L., Pusztai L., *Mol. Simul.* 1 (1988) 359.
3. Sváb E., Mészáros Gy., Deák F., *Materials Science Forum* 228 (1996) 247.
4. Proffen Th., Billinge S. J. L., Egami T., Louca D., *Zeitschrift für Kristallographie* 18 (2003) 132.
5. Poulsen H., Neuefeind J., Neumann H. B., Schneider J. R., Zeidler M. D., *J. Non-Cryst. Solids* 188 (1995) 63.
6. <http://www.isis.rl.ac.uk/RMC/downloads>;
<http://www.szki.hu/~nphys/rmc+/opening.html>
7. Fábán M., Sváb E., Mészáros Gy., Kőszegi L., Temleitner L., Veress E., *Zeitschrift für Kristallographie Suppl.* 23 (2006) 461.
8. Fábán M., Jávári P., Sváb E., Mészáros Gy., Proffen T., Veress E., *J. Phys.: Condens. Matter* 19 (2007) 335209.
9. Fábán M., Sváb E., Proffen Th., Veress E., *J. Non-Cryst. Solids* 356 (2010) 441.

A STUXNET VÍRUS ÉS AZ IRÁNI ATOMPROGRAM

Cserhádi András

Paksi Atomerőmű Zrt. Kapacitásbővítési Igazgatóság

Az elmúlt háromnegyed évben – egyre inkább – a legkifinomultabb számítógépes vírusnak, jelentős biztonságpolitikai eseménynek, sőt korszakhatárnak bizonyult a Stuxnet nevű kártevő. Felfedezését követően beteken belül kiderült, hogy főleg ázsiai ipari alkalmazásokra irányul. A visszafejtő munka bala-dásával már mind több jel mutatta, hogy Irán nuk-leáris infrastruktúrája ellen hozták létre. 2010 végére már egyértelmű lett, hogy urándúsítók gázcentrifu-gáinak tönkretételére és a dúsítás hatékonyságának lerontására készítették.

Ilyen összetett, folyamatszabályozó rendszerekbe álcázva behatoló vírust eddig még soha nem vetettek be. Ezért egészen biztos, hogy nem egy-két hacker,¹ hanem hatalmas állami ráfordítás hozta létre. Eleinte csak a víruskutatók, idővel már a számítógépes hadviselés szakértői is megnyilvánultak az ügy kapcsán, de a történetre hamar rátalált a (bulvár)média is. Sajnos sem a szakértők, sem a laikus sajtó nem nagyon tudott vagy nem is nagyon akart különbséget tenni a perzsa urándúsítók és az indítás előtt álló atomerőmű közt. Sokuknak egyszerűbb és hatásosabb volt min-dent összemosni és új Csernobilt vizionálni. Ideje tehát, hogy a nukleáris oldal is hallassa hangját, ezért készült jelen cikk.

A Stuxnet vírus rendkívüli kialakítása és jellemzői

Stuxnet olyan különleges számítógépes féreg [1–6], amely MS Windows operációs rendszert futtató gépeket fertőz, és azokon terjed, de hatását végső soron ipari folyamatirányító rendszereken keresztül fejti ki. Támadja a folyamatok felügyeleti irányítását és adatgyűjtését (SCADA²), és nem csak kémkedik a célzott ipari rendszer után, hanem át is programozza azt. Az első olyan kártevő, amely programozható logikai vezérlők (PLC³) rootkitje,⁴ azaz rejtett, privilegizált módon fér hozzájuk, aláaknázva rajtuk a szabványos operációs rendszer vagy más alkalmazás működését. A Stuxnet kivételes képességei ezen túl egyetlen gyár-tó termékeire összpontosulnak: a Siemens cég – főleg vegyipar, energiatermelés, szállítás területén haszná-latos – eszközeire (WinCC HMI, illetve STEP7).

Az írást, amely megjelent a *Nukleon* internetes folyóirat márciusi számában a szerző és a főszerkesztő engedélyével közöljük.

¹ A számítástechnikai rendszereket mélyen ismeri, képes lehet betörni, illetéktelenül használni.

² Supervisory Control And Data Acquisition

³ Programmable Logic Controller

⁴ Root (minden jogosítvánnyal rendelkező) + Kit (feladatot megvalósító szoftverösszetevő), kártevőre utaló

Egy sor vírustechnológiai különlegességet is rejt magában a kártevő. Mivel ezt 2010 őszén a vezető informatikai biztonsági cégek elég részletesen kive-sézték, csak összefoglalom:

- Nagy mérete (0,5 MB) és több nyelven (C és C++) írt részletei szokatlanok.
- 3 egymás utáni rétegen keresztül juttatja célba végső támadó kódjait (Windows operációs rendszer, WinCC/Step7 ipari alkalmazás, Siemens PLC).

Windows réteg

- Szinte minden Windows verziót (~ XP-SP2, -SP3; ~ Vista-SP1, -SP2; ~ Server-2003, -2008, -2008 SP2; ~ 7; ~2008 R2) megfertőz, viszonylag gyorsan és válogatás nélkül.
- A jellemző egy helyett négy felfedezetlen, javítással nem rendelkező biztonsági rést⁵ használ ki.
- USB-s tároló eszközökről települ, korai verziójában AutoRunnal, újbán nélküle, ikonokat beolvasó fájlkezelők (például Windows Intéző, Total Commander) segítségével.
- Tovább fertőz internettel kapcsolatban nem álló, megosztott hálózati erőforrásokon keresztül, fájljait elrejt.
- Két hamisított digitális aláírást (a tajvani JMicon és Realtek tanúsítványai) vet be eszközmeghajtói megbízhatóságának igazolására.
- Két Stuxnet vírus találkozásaakor a frissebb él tovább.

WinCC/Step7 réteg⁶

- Alapértelmezett Siemens gyári felhasználót és jelszavakat alkalmaz.
- Ha van internetkapcsolata, egy sor kódolt adatot elküld egy külső szerverre (eddig dán és maláj szervert találtak elfogott vírusokban), ahonnan vagy kódolt parancsot kap meglévő rutinja indítására, vagy letölt, installál és elindít egy frissítést.
- Adatkábeles összekötés esetén beékelődik a Windows munkaállomáson futó WinCC és a PLC közti adatforgalomba és észrevétlenül támadó kódot instalál a PLC-kre.

PLC réteg

- A specializáció további lépcsőjeként a támadó kódok akkor fejtik ki hatásukat, ha két konkrét vezér-lőt és azok felügyelete alatt bizonyos konkrét beren-dezéseket találnak.

⁵ Zero day bug vagy ~ vulnerability

⁶ Alapfeladatai: PLC konfigurálás (projekt felépítés, adatforrások, jelek felvétele, képek megrajzolása, objektumok, esemény- és hibana-pló dinamizálása, trendek generálása) és projektfuttatás (indítás, on-line állapotba váltás, amikor látható a képeken a figyelt készülé-kek által küldött információk hatása) Windows munkaállomásról.



1. ábra. Simatic S7 központi egységek (forrás: www.ob121.com).

A megtámadott vezérlők és a rájuk kapcsolódó ipari eszközök

A vírus a Siemens Simatic S7 PLC sorozatának (1. ábra) következő típusait használja [1]:

1. S7-300 (315) közepes, általános célú vezérlő, 256 kB memóriával,
2. S7-400 (417) csúcsmodell, akár 30 MB memóriával; redundáns és hibatűrő rendszerekben is alkalmazzák, egyebek közt erőművek turbinavédelmében is.

A vírus a PLC-ken bizonyos konkrét ipari eszközök, nevezetesen nagy sebességű motorok frekvenciaátalakítói után kutat, és csak akkor lép akcióba, ha a finn Vacon és iráni Fararo Paya készülékeire talál, valamint a felügyelt eszköz 807 és 1210 Hz között működik.

Ilyen frekvenciaátalakítók és motorok szinte kizárólag az iráni urándúsítóknak használatosak. A továbbiak megértéséhez tekintsük át először általában a gázcentrifugákat, majd iráni alkalmazásukat.

A gázcentrifugák felépítése, működése

Ismert, hogy a bányászott természetes uránban a hasadó izotóp (^{235}U) aránya mintegy 0,7%. Energetikai reaktorok üzemanyagához 3–5% körüli, a kutatóreaktorokéhoz nagyobb, újabban jellemzően 20% alatti hasadó képes hányadra van szükség. Atomfegyver készítéséhez ugyanakkor legalább 20%-ra, ideális esetben több mint 90%-ra kell dúsítani az ^{235}U izotópot.

A dúsítás egyik lehetséges módszere gázcentrifuga alkalmazása [7–9]. A centrifuga pár méter magas, karcsú, álló hengeres ház, amelyben szinte súrlódásmentes környezetben, nagy sebességgel forog egy ugyancsak hengeres, belül üreges rotor (2. ábra). Az uránt gáz halmazállapotban, urán-hexafluorid (UF_6) formában vezetik be a rotorba. A gáz a rotor falától gyors forgásba jön. A centrifugális erő a nehezebb uránizotópot (^{238}U) kifelé hajtja, míg a könnyebb ^{235}U középen, a tengely mellett dúsul fel. Kis terelő lemezekkel vagy a rotor alsó, külső melegí-

tésével emellett még lassú függőleges áramlást is létrehozhatnak úgy, hogy a gáz belül felfelé, kívül lefelé áramlik. Így a rotor aljára lenyúló csöveken át a szélekről kiszívott gázban valamivel kisebb, míg felső csöveken középről kiszívott gázban pedig valamivel nagyobb az ^{235}U aránya, mint a beadott összetételben [4, 7].

A fordulatszám és sebesség érzékeltetéséhez néhány szám. Egy átlagos utcai autó motorjának alapjáratú fordulatszáma 1000 fordulat/perc alatti, üzemben 2000–4000 körüli (persze egy F1 versenyautót ennek akár hatszorosára, 18000-re is felpörgetnek). Az erőművi turbinák fordulatszáma Európában zömmel 3000 fordulat/perc, ami pontosan 50 Hz frekvenciát jelent. Ennél a korai gázcentrifugák is húsz-huszonöt-ször gyorsabbak, 800–1200 Hz a frekvenciájuk. A rotor falának kerületi sebessége legalább 300 m/s nagyságrendjébe esik (hangsebesség).

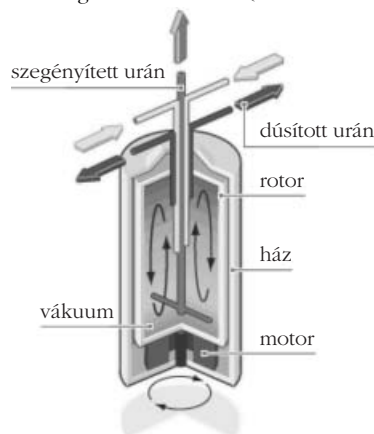
A kis súrlódás a ház vákuumozásával és a rotor mágneses csapágyazásával érhető el, forgás közben érintkezés a tengelycsap és a csapágyház között gyakorlatilag nincs. A rotor anyaga az egyszerűbb modelleknél alumínium, de idővel egyre inkább acélra, sőt szénszálas kompozitokra állnak át. Annál hatékonyabb az izotópszeparáció, minél gyorsabban forog és minél hosszabb a rotor. A sebességnek a rotor szilárdsága, a hosszának a vibrációk különféle felharmonikusainak növekedése szab határt. A forgás közben a sajátfrekvenciák körül rezonanciajelenségek léphetnek fel. Ezeken a kritikus sebességeken a gyorsuló vagy lassuló rotort hamar át kell juttatni, illetve a csapágyak lengéscsillapításának beállításával a rendszert el kell hangolni. Eleinte a kritikus fölötti sebességre tervezett, úgynevezett szuperkritikus modelleket fejlesztettek, viszont az újabbaknak úgy optimalizálták anyagát, hosszát és csapágyait, hogy még nagyon nagy sebességen is szubkritikusak lehetnek [7–9].

Az iráni urándúsítás, a centrifugák eredete

Az irániak által használt centrifugák sajátos terjedési és fejlődési láncon keresztül kerültek az országba.

1945–1956 során német hadifogolyként 60 fős csapata élén az osztrák *Gernot Zippe* tökéletesítette a szovjet gázcentrifugákat, az egyik kifinomult típus máig az

2. ábra. Gázcentrifuga elvi kialakítása (news.bbc.co.uk nyomán).





3. ábra. Elnöki látogatás a dúsító műben, egy IR-1 kaszkád (forrás: www.president.ir).

ő nevét viseli. Miután hazakerült a hadifogságból, meglepődve realizálta: műszaki színvonaluk a nyugati világot meghaladta. Emlékezetből felidézte, majd szabadalmaztatta a megoldásokat. Amerikai csábításra egy ideig Virginiában dolgozott, de rövidesen visszatért Európába, és további fejlesztéseket végzett, új projektekben vett részt. Terveit az európai energetikai reaktorok nukleáris üzemanyagának gyártásában, az Urenco csoport hollandiai telepén is alkalmazták.

A hetvenes években az Urencónak bedolgozó egyik amszterdami K+F intézetben nagy szilárdságú anyagokat tanulmányozott a pakisztáni *Abdul Qadeer Khan* mérnök és anyagtudós. Úgy került közel a centrifugákhoz, hogy intézete ötvözetait azok rotorjaiban is használták és a sok nyelvet jól beszélő Khant bevonták centrifugatervek fordításába. Khan a tudással hazatérve a pakisztáni atomfegyverprogram kulcsfigurája lett. Az irányításával a nyolcvanas évek elején kifejlesztett Pak-1 vagy P-1 jelű centrifugák nem csak a pakisztáni uránbombákhoz vezettek el, hanem fekete-piaci hálózatán a kilencvenes évek közepén egyebek közt Iránba és Líbiába is eljutottak [4].

Natanz és Qom telepei, az újabb fejlesztések

Irán dúsító kapacitását Natanz közelében alakították ki. A natanzi telep legfontosabb elemeit igyekeztek légitámadásoktól minél jobban megvédeni. Az összesen mintegy 100 ezer m² területű üzemcsarnokokat eleve 8 m-rel a felszín alá rejtették, és 2,5 m vastag vasbetonfödémrel látták el. 2004-ben még tovább vastagították a betont, majd arra további 22 m magas földtakarást hordtak. Egy kísérleti és egy teljes léptékű üzem is kiépült. Létezésüket 2003-ban ismerték el az irániak, ekkor töltöttek fel urán-hexafluoriddal egy 10, majd 164 centrifugát tartalmazó kaszkádot. 2009-ben már körülbelül 8000 centrifuga volt beépítve, és ebből már 5000 működött Natanzban. Ugyanebben az évben Irán nyilvánosságra hozta, hogy további félüzemi gázcentrifugás urándúsítót létesített Qom közelében (a hasonlóan védett utóbbi létesítményt az elemzők Fordow néven is említik).

A pakisztáni P-1 centrifuga iráni változatának a külvilág által adott neve IR-1, míg a további modernebb sorozatoké IR-2, IR-3 stb. Az IR-1 még alumínium rotoros hosszú szerkezet, szuperkritikus sebességű. Az IR-2 szénszálas rotorja már nagy szilárdságú és csak mintegy fél méteres, így 450 m/s szubkritikus kerületi sebességen üzemeltethető. A hasonlóan rövid, szintén kompozit rotoros IR-3 prototípus pedig még gyorsabb: kerületi sebessége ugyan 600 m/s, de még így is szubkritikusan forog [4, 8].

A natanzi IR-1 és IR-2 centrifugákról a legtöbb képi információt *Mahmud Ahmedinezsád* 2008. áprilisi látogatása (3. ábra) kapcsán hozták nyilvánosságra [10]. A több tucatnyi fotó ma is letölthető az elnöki honlapról, amatőr és profi analízisek aranybányájaként.

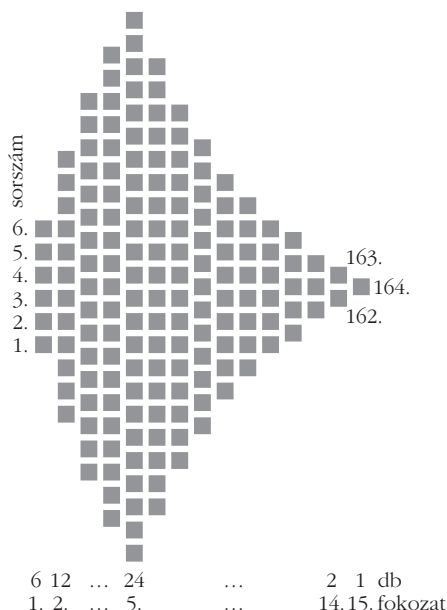
Az iráni atomfegyverkezést kutató civil tudósok, egyetemi és katonai szakértők valamint a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség felügyelői évek óta elemzik a békés célúnak mondott dúsító kapacitások hirtelen hadicélú átállításának lehetséges forgatókönyveit.⁷ Vizsgálják, hogy az ismert létesítmények, kaszkádok, centrifugatípusok mellett milyen gyors az átállítás, és mennyi idő kell egy-két uránbomba anyagának elkészítéséhez. Az alap forgatókönyv a békés: természetes uránból alacsony dúsítású reaktor-üzemanyag előállítására. Továbbiak: a természetes uránból vagy a már felgyűlt alacsony dúsítású uránból magasan dúsított urán, mint bomba-alapanyag. Azt is értékelik, hogy mennyire észrevehető a felügyelőknek, hírszerzésnek az átállítás, és például a Natanzból Fordowba vagy esetleg más még ismeretlen létesítménybe való átszállítások [8, 9].

A centrifugák kaszkádjai, optimumok, anyaghozamok

Mivel a dúsítás mértéke egy centrifugában csekély, sokat (több százat) kell csövekkel egymás után kapcsolni, azaz kaszkádba rendezni. Az ²³⁵U aránya így centrifugáról centrifugára, fokozatosan növekszik a kívánt szintre. A kapcsolat továbbá nem csak előre menő (amikor a kissé dúsított gázt a következő fokozat centrifugájába vezetik), hanem visszamenő is (a szegényített gáz visszakerül az előző fokozat centrifugájába). A kaszkád tehát egy sok oda/visszacsatolással rendelkező hálózat. Még jobban bonyolítja e hálózatot, hogy nem csak sorosan, egyesével fűzik fel a centrifugákat, hanem az egymás utáni fokozatok több párhuzamosan kötött centrifugából is állhatnak. A soros kapcsolás a dúsítás mértékét (minőség) növeli, míg a párhuzamos a kapott anyagot (mennyiség). A fokozatokon belüli centrifugaszámok alkalmas kiválasztásával javítható a kihozatal. Más az optimális kapcsolat alacsonyabb és magasabb dúsítások esetén.

Még Pakisztánban, de később Iránban is a centrifugákat 164 elemű, 15 fokozatú kaszkádokba rendezték, amit egy iráni vezető tv-nyilatkozata is megerősített. Analitikus számításokkal kimutatható, hogy eb-

⁷ breakout scenario



4. ábra. A 164 elemű kaszkád ideális elrendezése (*Physics Today* cikke nyomán).

ben az esetben ideális dúsítási teljesítmény akkor érhető el, ha a 4. ábra szerinti elrendezést követik (rendre 6, 12, 17, 21, 24, 20, 16, 13, 10, 8, 6, 5, 3, 2, 1 centrifuga tartozik egy fokozatba). A legtöbb centrifuga az ötödik fokozatban található, itt történik a kiinduló gáz bevezetése a kaszkádba [2, 8].

A 315-ös támadó kód

Jelentősen egyszerűsített leírás: lényegében öt szakaszt váltogat ciklikusan, ebből leghosszabb a kiváró (13–90 nap), a többi órás nagyságrendű. A rongáló szakasz során – miközben a kezelőknek a korábban felvett normál üzemi paramétereket mutatja – felpörgeti 1410 Hz-re, majd lelassítja 2 Hz-re a centrifugát (majdnem törésig viszi a rotort, átlépteti a kritikus fordulatszámon, illetve hagyja az addig szeparált UF₆ újbóli összekeveredését), ezután visszaáll a névleges frekvenciára [1]. A cél a centrifuga fokozatos, észrevétlen tönkretétele és a dúsítási folyamat megzavarása.

Mit fenyegethet még a Stuxnet a centrifugákon kívül?

E fontos kérdésben a mértékadó álláspontok az elmúlt év végére eléggé módosultak. Ragadjunk ki a továbbiakban *Langner* blogjából [2] néhány részletet:

2010-11-13

Míg a 315-ös támadó kódról már eléggé kiderült feladata, a 417-es támadó kód kapcsán ezt egyelőre csak találgatni lehet. Két lehetséges irány:

1. A centrifugakaszka magasabb szintű vezérlésének megzavarása. A 315-ös PLC-k ugyanis egyedül nem képesek a centrifugák irányítására, és biztosan

nem ellenőrzik az egész kaszkádot. Alighanem csak a rotorok egyedi, modulszintű vezérlésére képesek. Kell tehát lennie kiegészítő vezérlőnek, amely a szivattyúkat, szelepeket stb. vigyázza. Ez lehet a 417.

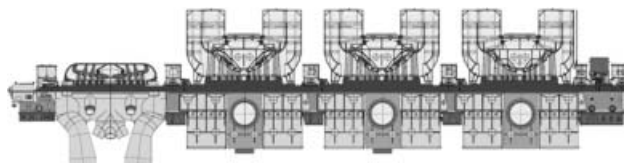
2. Az iráni nukleáris eszközpark másik fontos eszközéhez kapcsolódó kártétel.

Langner akkor nagyobb esélyt adott a második iránynak. A kézenfekvő objektumot pedig a Bushehri Atomerőműben, annak nagy turbinájában (lásd alább az apró betűs részt) vélte megtalálni, kezdettől elhárítva a reaktor és primerköri rendszerek támadására irányuló találgatásokat. Nyomozása szerint a turbina a vezérlőkön keresztül elvileg többféle módon megrongálható. Túlpörgethető teljes gőzáram mellett a generátor terhelésének hirtelen ledobásával, vagy rezgésbe vihető a kritikus fordulatszám-tartományban. Ha a turbinának a szabályozásán kívül netán a védelme is be van integrálva a 417-es PLC-be, akkor ez szinte biztosan megtehető. Még akkor is, ha a rendszer – esetleg – több azonos redundáns elemből épül fel, hiszen mindet közös módon támadja a féreg.

A bushehri turbina, gyártója és irányítástechnikája

A K-1000-60/3000-3 típusú orosz turbinát az LMZ (Leningrádszkij Metallicseszkij Zavod) gyártotta. A nagy múltú szentpétervári energetikai gépgyár 2000-ben sorolt be hat további nehézipari céggel a Szilmas (Szilovije Masini) konglomerátumba, amelynek tulajdonosai közt a Siemens is 25%-kal szerepel.

A generátoron 1014 MW villamos teljesítményt leadó, 5,88 MPa (~60 bar) nyomású gőzt nyelő és percnként 3000 fordulatú turbina – ahogy az 5. ábrán is látható – egy kettős kiömlésű nagynyomású és három ugyancsak kettős kiömlésű kisnyomású házból áll. Mindez egy tengelyen, több mint 40 m hosszúságú kivitelben.⁸



5. ábra. A bushehri turbina metszete (forrás: LMZ előadás, 2008).

Vélelmezhető, hogy a Siemens által résztulajdonolt LMZ turbináit nem a konkurencia vezérlőivel látják el. Több olyan dokumentum fellelhető az interneten, amely szerint a Siemens által vagy tervei alapján gyártott Simatic S7-400 (417) egységeket oroszok atomerőműben is alkalmaznak (a Kalinyini Atomerőmű 3. blokkján létesült digitális mintarendszer több eleme elterjedt más atomerőművekben, így Bushehrben is).

2010-12-27

Langner felfigyelt rá, hogy a 417-es támadó kód egy 164×6-os tömböt kezel. Ebből arra a következtetésre jutott, hogy alighanem a centrifugák védelmét ellátó rendszert bénítja le. A 417-es PLC tehát valószínűleg szelepeket és gázfűvőket vezérel. Ha például alapfunkcióként a rotor egyensúlyhiányát észlelve az urán-hexafluorid gázt gyorsan le kellene ürítenie, de

⁸ A cikk szerzőjének személyes motívuma: 2009. októberben látogatást tett az üzembe helyezés kezdetén lévő bushehri atomerőműben. Perzsa kísérőivel végigmászta a konténmentet a reaktorcsarnokkal, elsétált a turbina mellett, járt a blokkvezérlőben. Akkor, másfél éve úgy becsülte, kellhet még egy év az indításhoz...

ezt nem hagyja neki a támadó kód, a bennmaradó gáz a rotorok repedéséhez vezethet, ráadásul a centrifuga törése a drága gáz kiömlésével jár.

2010-12-29

417 adatszerkezete = kaszkád struktúra = kárjelenítés beszédes című bejegyzés szerint (6. ábra) a támadó kód hatszor hív meg egy szubrutint, amelyen belül egy 164 elemű ciklus van.

Mint láttuk, a natanzi IR-1 centrifugák 164 elemű kaszkádokba vannak rendezve. Hat kaszkád 984 centrifuga, közel 1000 gép. Éppen ennyi leállításáról és cseréjéről szoltak a hírek, a képbe beleillő időzítéssel [1]. Nyilván ugyanarra a 417-es fertőzött vezérlőre kapcsolódtak. A két támadó kód így a biztos találat érdekében két lövés, két irányból ugyanarra a célra. A turbina tehát alaptalanul keveredett gyanúba.

A 417-es támadó kód további kártétele

Az idei év elejére az is kiderült, hogy a 417-es támadó kód egy további rutinja átrendezi a kaszkádon belül a centrifugák kapcsolását. Szinte tükrözi az ideális elrendezést: a kaszkád elejére kevesebb, a végére több centrifugát tesz. A fokozaton belüli maximális szám ugyan 24 marad, de ez nem az 5. hanem a 10. fokozatban jelenik meg. Ezzel a kívülről nem látható művelettel – hiszen a kezelőnek a korábban, eredeti elrendezés során felvett normál üzemi adatokat mutatja – jelentősen lerontja a dúsítás hatásfokát [2].

Vélhető támadók, áttételesen igazolódott hatások

2011. január közepén a *New York Times* cikke független szakérőkre hivatkozva azt sugallta, hogy a vírus megrendelői az amerikai és izraeli titkosszolgálatok. Akarva vagy sem, a német Siemens is érintett lehet, mivel 2008-ban az Idaho National Laboratory szakembereivel együtt tanulmányozták a Siemens SCADA rendszerek sebezhetőségeit és ezek az adatok szivároghattak tovább a CIA, majd a Moszad kezébe. Vélelmezhető az is, hogy Izrael kapott a Khan által Líbiába exportált, majd *Moamer Kadhafi* atomfegyverről való lemondása után az USA-ba szállított P-1 centrifugákból és azokból a titkos izraeli atomtelepen, Dimonában egy működő mintarendszert épített ki a támadó kódok kipróbálásához, finomításához [11].

A hivatalos Irán máig legfeljebb kisebb zavarokat ismer el a dúsító műveiben, illetve annyit, hogy foglalkoznia kellett vírusfertőzéssel [12]. Az adatok ennél jóval többet mutatnak. A NAÜ vizsgálati anyagok szerint a Natanzban beépített centrifugák száma már 2009 novemberében majdnem 2000-rel esett vissza, és a 2009 augusztusát követő év folyamán csak a centrifugák fele, vagy még annyi sem volt feltöltve UF₆-tal [1]. Ma már egyre inkább a vírus okozta problémákhoz kötik *Gholam Reza Aghazadeh*, az iráni nukleáris

FC6068 is called from FC6070 six times, passing 1..6 as arg2

```
void FC6068(arg2, arg4)
{
    ar2 = arg2 << 3; // make pointer from offset

    for(int i=1 ; i<=164 ; i++) // for all centrifuges in the cascade
    {
        if(DB8061.[ar2] & 0x400000 == 0)
        {
            ar1 = DB8061.[ar2] & 0x7FFF8;
            DB8063.[arg4] = DB8063[ar1]
                & ((1 >> DB8061.[ar2] & 0x07) +1);
        }
        arg4 += F#0.1; // next boolean
        ar2 += 4.0; // next input address
    }
}
```

Langner

6. ábra. A visszafejtett 417-es támadó kód egy részlete (forrás: Langner blog).

csúcászervezet vezetője 2009. júliusi – akkoriban nehezen érthető – leváltását is. Sokatmondó és ugyan csak súlyos kártételre utal az a 2010. november végi hír, hogy Natanzban az összes 54 kaszkádból 10-et már átkonfiguráltak 174 centrifugásra [13].

A Stuxnet mértékadó vélekedések szerint mintegy két évvel vetette vissza az iráni nukleáris programot, még akkor is, ha az iráni dúsítási kapacitás 2010-ben tovább növekedett. Mindezt zajos katonai csapás, bunkerrobbantó bombák, közvetlen áldozatok és súlyosabb politikai terhek nélkül érte el. Ráadásul az sem kizárt, hogy a féreg eddig fel nem fedezett, így szokványos támadás számára elérhetetlen további objektumokban is pusztított [2, 11].

Záró gondolatok

Ahogy láttuk, fokozatosan egyre több tény, adat bontható ki, vélekedés jelenik meg – néha váratlan fordulatokkal – a vírus kapcsán és rajzol ki egyre éleesebb, összefüggő képet. A közeli jövőben sem kizártak új információk, meglepetések, de a lényeg már nemigen változik. Talán legjobb megint Langner 2010-es évet záró bejegyzését idézni [2]:

1. Minden kétséget kizáróan a Stuxnetet arra fejlesztették ki, hogy a centrifugák fizikai sérülését okozva késleltesse az iráni urándúsítási programot.

2. A támadást nem robbanásszerűen, hanem lassan, fokozatosan kiviteleztek. Arra lehet számítani, hogy az ISIS jelentésben említett 984 centrifugán túl továbbiakat is megrongált a Stuxnet. Erre a 2011. február végére esedékes következő NAÜ ellenőrzés adhat egyértelmű választ.

3. A támadás teljes elemzése lehetséges anélkül is, hogy a natanzi vezérlőszekrények közelében lennénk. Csupán az IR-1 kaszkád szervezését és működtetését kell jól érteni, valamint a műszerezés néhány alapvető adatát kell ismerni.

4. Egy ilyen nagy horderejű támadás mögött feszülő hatalmas erőket elég könnyű érzékelni. A Stuxnet kártevő kifejlesztéséhez extrém mennyiségű hírszerzési adat kellett a dúsító mű elrendezéséről, teljesen meg kellett érteni az IR-1 működését (amihez feltehetően rendelkezésre állt egy üzemképes tesztelő rendszer is), valamint a Siemens érintett termékeiről ren-

geteg bennfentes tudásra volt szükség. Mindez igen kevés szervezetre szűkíti le a világon azt a kört, amely a feladat megoldására vállalkozhatott.

5. A Stuxnet interneten elérhető támadó kódja kiváló alap, elrugaszkodási pont a kiberrháborús fegyverek új generációjának kifejlesztéséhez. Abból kell indulnunk, hogy olyan jelentős államok, mint Kína és Oroszország számítógépes hadviselési képességük bármilyen szándékkal történő létrehozásához már javában elemzik az utolsó bitekig bezáróan a kódot, koncepciókat és eszközöket hoznak létre jövőbeli hasonló támadásokhoz. De ezen fegyverek célpontjai nagy valószínűséggel már nem csak a Közel-Keletre fognak lokalizálódni.

Kiegészítem az 5. ponthoz: a nukleáris létesítmények, mint a kritikus infrastruktúra elemei szinte biztosan a célkeresztben maradnak. Ez új feladatokat jelent számunkra is.

Irodalom⁹

1. Vezető víruscégek részletes és folyamatosan mélyülő elemzései
 - N. Falliere, L. O. Murchu, E. Chien: W32.Stuxnet Dossier v1.3, Symantec, 2010-11-12; http://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/media/security_response/whitepapers/w32_stuxnet_dossier.pdf
 - Matrosov, E. Rodionov, D. Harley, J. Malcho: Stuxnet Under the Microscope, Rev 1.31, 2010-12-16; http://www.eset.com/resources/white-papers/Stuxnet_Under_the_Microscope.pdf
2. Ralph Langner hamburgi vírusbiztonsági szakértő blogja: <http://www.langner.com/en/blog>
3. A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem anyagai
 - Berzsényi D., Szentgáli G.: Stuxnet – a virtuális háború hajnala. 2010-10-07; <http://www.biztonsagpolitika.hu/?id=16&aid=932>
 - Kovács L., Sipos M.: Stuxnet, és ami mögötte van. ZMNE, 2010-11-24; http://robothadvises.hu/pres/KovacsL_SiposM.pdf
4. Wikipedia szócikkek
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Stuxnet>; <http://ru.wikipedia.org/wiki/Stuxnet>; http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_facilities_in_Iran, http://en.wikipedia.org/wiki/Zippe-type_centrifuge, http://en.wikipedia.org/wiki/Abdul_Qadeer_Khan
5. Vírus Híradó cikkek
 - Újra magas fordulatszámon pörög a Stuxnet-ügy. 2010-11-16
 - Angol hidegvérrel szemlélik a Stuxnetet. 2011-01-18
 - Tevégel a Stuxnet. Bizottság tervezte az atom-kártevőt. 2011-01-21http://www.virusshirado.hu/hirek_tart.php?id=1751,1783,1785
6. Orosz hacker szakfolyóirat cikkei
 - Шпионский ярлык: история тройня Stuxnet. 2011-11-18
- New York Times: за червем Stuxnet стоят разведки США и Израиля. 2011-01-18
- Stuxnet полон ошибок и некачественного кода, 2011-01-20 <http://www.xakep.ru/post/53950/default.asp>, 54552, 54578
7. Institute for Science and International Security (ISIS)
 - What is a Gas Centrifuge? 2003; <http://www.exportcontrols.org/centrifuges.html>
 - D. Albright, A. Stricker: Stuxnet Worm Targets Automated Systems for Frequency Converters: Are Iranian Centrifuges the Target? Nuclear Iran News, 2010-11-17, jav. 12-20; <http://www.isisnucleariran.org/news/detail/stuxnet-worm-targets-automated-systems-for-frequency-converters-are-iranian/>
 - D. Albright, P. Brannan, C. Walrond: Did Stuxnet Take Out 1,000 Centrifuges at the Natanz Enrichment Plant? 2010-12-22 http://isis-online.org/uploads/isis-reports/documents/stuxnet_FEP_22Dec2010.pdf
8. Wood H. G., Glaser A., Kemp S.: The gas centrifuge and nuclear weapons proliferation. *Physics Today*, 2008. szeptember; <http://www.princeton.edu/~rskemp/Kemp%20-20Gas%20Centrifuge%20and%20Nonproliferation%20-%20SPLG.pdf>
9. Műszaki, tudományos és biztonságpolitikai elemzések
 - Oelrich I., Barzashka I.: Engineering Considerations for Gas Centrifuges, FAS, 2010; <http://www.fas.org/programs/ssp/nukes/fuelcycle/centrifuges/engineering.html>
 - Barzashka I.: Using Enrichment Capacity to Estimate Iran's Breakout Potential, FAS, 2011-01-21; http://www.fas.org/pubs/_docs/IssueBrief_Jan2011_Iran.pdf
10. Nagy felbontású centrifuga fotók Ahmadinezsád elnök natanzi látogatásáról. 2008. április <http://www.president.ir/piri/media/main/28832.jpg> ... 28881.jpg
11. A New York Times cikke és magyar ismertetése
 - W.J. Broad, J. Markoff, D. E. Sanger: Israeli Test on Worm Called Crucial in Iran Nuclear Delay. NYT, 2011-01-15; <http://www.nytimes.com/2011/01/16/world/middleeast/16stuxnet.html>
 - Amerikai segítséggel fejleszthette Izrael az iráni atomerőművet támadó vírust. HVG, 2011-01-21; http://hvg.hu/Tudomany/20110121_stuxnet_iran_amerika_izrael
12. Iráni hírügynökségek cikkei
 - AEOI Chief Unveils New Details on West's Cyber Attack on N Sites. Teheran, FarsNews, 2010-11-23; <http://english.farsnews.com/newstext.php?nn=8909021485>
 - Envoys of IAEA members in Natanz to visit uranium enrichment site. Tehran, IRNA, 2011-01-16; <http://www.irna.ir/ENNewsShow.aspx?NID=30190522>
 - Iran dismisses reports on Stuxnet effect on nuclear facilities; <http://isna.ir/Isna/NewsView.aspx?ID=News-1697213&Lang=E>
 - <http://isna.ir/Isna/PicView.aspx?Pic=Pic-1697213-1&Lang=ETehran>, ISNA, 2011-01-17
13. AtomInfo.Ru cikkei
 - Иран переконфигурировал 10 каскадов на 174 центрифуги. 2010-11-29
 - Основные данные из доклада МАГАТЭ по ядерной программе Ирана. 2010-11-29
 - Stuxnet и Иран: загадка модуля A26. 2010-12-28 <http://atominfo.ru/news3/c0942.htm>, c0945, d0249

⁹ Az összes fájletöltés 2011-01-23-án történt

HIBAIGAZÍTÁS

Márciusi számunkban *A Kepler-forradalom* című cikk szerzőjének munkahelyét tévesen adtuk meg. Minthogy a szerző nem a szakmában dolgozik, a *Fizikai Szemle*

szokásainak megfelelően *Futó Péter*, Csorna a helyes névalírás. Tévedésünkért az olvasók elnézését kérjük. Szerkesztők

Szerkesztőség: 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29–33., 31. épület, II.emelet, 315. szoba, Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: mail.elft@gmail.com

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szatmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulathoz vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyzámlán.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588–0540 (online)

A téremissziós és a térion-mikroszkópok feltalálója

A katódsugárcsőben általában felizzított fémzárból lépnek ki azok az elektronok, amelyekből létrejön a katódsugár. Ez az elektronnyaláb atomi mértékkel mérve meglehetősen széles és inhomogén. További ügyeskedéssel tehető többé-kevésbé keskenyvé és homogénné, hogy alkalmas legyen eltérítésre (oszilloszkóp), továbbá modulálásra (televízió), valamint tárgyak ellenőrzött besugárzására (elektronmikroszkóp).

1936-ban a berlini műegyetemen a Nobel-díjas *Gustav Hertz* (1887–1975) egyik doktoranduszának eszébe jutott, hogy magáról a katódsugarat kibocsátó fémről is lehetne információhoz jutni, ha elég kis felületről lépne ki az elektronok, mégpedig a fém kristályszerkezete által meghatározott, de legalábbis befolyásolt irányokban. Ehhez hideg katódra lenne szükség, mert a termikus elektronok már semmi információval nem rendelkeznek arról a helyről, ahonnan kilépnek. Hidegkatódból viszont hogy lehet kiszívni az elektronokat? Rendkívül erős elektromos térrel. Tű alakú katódra van tehát szükség, két okból is: egyrészt, hogy kis felületről (a tű hegyéről) lépjenek ki az elektronok, másrészt az elektromos csúcshatás miatt itt alakulhat ki nagy elektromos térerősség.

A doktorandusz, akinek ezt sikerült gyakorlatilag is megvalósítania, *Erwin W. Müller* (1911–1977) volt. A tűhegyes katóddal rendelkező, nagyvákuumú, hideg-emissziós katódsugárcsővet azután elnevezték téremissziós mikroszkópnak (1. ábra). Tájékoztató adatok: a tű hegyének „görbületi sugara” 100 nm nagyságrendű, feszültsége a fluoreszcens ernyőhöz képest néhány kV. Így a térerősség a csúcsonál 10 milliárd V/m nagyságrendű. Ennyi már elég ahhoz, hogy elektronok léphessenek ki a fém felületi kristályszerkezetéből és a kristálysíkok elhelyezkedéséről nyújtsanak információt az ernyőn. A nagyítás százazres nagyságrendű, a feloldási határ 2 nm. Erwin Müller wolframcsúccsal dolgozott, de más magas olvadáspontú fémek (Mo, Pt, Ir) is alkalmasak erre a vizsgálatra.

Ma már a német Leybold cég fizikai taneszközként gyárt téremissziós mikroszkópot, hazai egyetemeken is találkozhatunk ezzel, mint demonstrációs eszközzel.

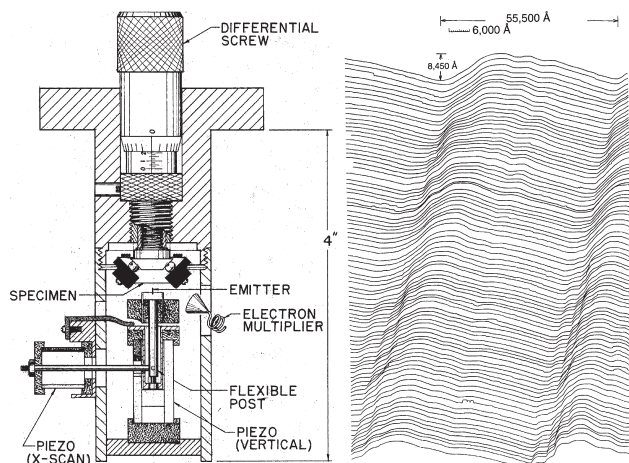
Visszatérve a feltalálóhoz, Hertz behozta a Siemenshez, ahol ő maga is dolgozott. Itt ismerkedett meg Müller *Ruskával*. Kettejük versengése az elektronmikroszkópia fejlődése szempontjából rendkívül hasznosnak bizonyult. A második világháború alatt Müller a Stabílovolt Társaságnál dolgozott, családjával együtt szerencsésen túlélte még Drezda bombázását

is. A háború után viszont csaknem éhen haltak, míg végül 1947-től újra Berlinben kapott állást az elektrokémiai intézetben. Itt találta fel és készítette el a térion-mikroszkóp prototípusát 1951-ben.

A térion-mikroszkópban a tű pozitív feszültségen van az ernyőhöz képest. A mikroszkóp belsejében már nem nagyvákuum van, hanem kis nyomású, semleges gáz, leggyakrabban hidrogén, hélium vagy neon. A gázmolekulák véletlenszerűen ütköznek a fémcsúccsal, ahol leszakadhat róluk egy elektron és így pozitív ionná válnak. A pozitív töltésű csúcs a pozitív ionokat eltaszítja, s ezek a foszfor-ernyőbe csapódva felvillanásokkal jelzik kiindulási helyüket. A csúcson az ernyőn kapható kép nagyítása milliószoros, feloldási határa a csúcs hőmérsékletét eléggé lecsökkentve 0,25 nm-re szorítható le. Ezt az eredményt azonban már nem Berlinben érte el Erwin Müller, hanem a Pennsylvániai Állami Egyetemen 1955-ben, ugyanis 1952-ben családjával együtt kivándorolt Amerikába. Igazából itt tudta felcsillantani nemcsak kutatói, hanem tanári erényeit is: az egyetemen kialakított kutató laboratóriumában számos ifjú tehetséget karolt fel és indított el eredményes kutatói pályán. Ezt az 1955-ös sikeres kísérletet is egyik PhD tanítványa, az indiából érkezett *Kanwar Bahadur* (1925–) segítségével hajtotta végre. A hűtés – folyékony nitrogénnel – Bahadur javaslata volt. 1967-ben Müller tovább javította térion-mikroszkópja teljesítményét, amikor sikerült összekapcsolnia egy alkalmas tömegspektrométerrel. Az új eszköz neve atomszondás térion-mikroszkóp (Atom Probe Field Ion Microscope) lett. A számítógéppel összekapcsolt bonyolult berendezéssel nemcsak észlelni, de azonosítani is lehetett egy-egy

1. ábra. Erwin W. Müller a téremissziós mikroszkóppal.





2. ábra. Russel D. Young topografinere és az első felvett mikroszkóp kép az eredeti, 1972-ben megjelent cikkből.

atomot. Megtervezésében és kivitelezésében Erwin Müller sok tanítványa vett részt, végülis *John Panitz* foglalta össze a legfontosabb első eredményeket doktori munkájában.

A mikrovilág felfedezői között Erwin Mülleré a discsőség, hogy elsőnek látott meg mikroszkópjával egyes, különálló atomokat. A 20. század sok tudósát, felfedezőjét hajtotta a vágy, hogy első lehessen ebben a versenyben – láttuk, *Gábor Dénes* számára is milyen komoly motivációt jelentett fiatalkori elhatározása: elvezette a holográfiához és ezen keresztül a Nobel-díjhoz.

Vajon Erwin Müller miért nem kapott Nobel-díjat? Mikroszkópért az utolsó Nobel-díjat 1953-ban adták, elektronmikroszkópért pedig a nyolcvanas évekig senki se kapott. Optikában a lézer volt az igazi újdonság, ennek kapcsán adtak ki 1964-ben (*Townes, Baszov, Prohorov*), 1966-ban (*Kastler*), és még 1971-ben is (*Gábor Dénes*) Nobel-díjakat. Erwin Müller 1976-ig aktívan kutatott és tanított. 1952-ben Berlinben Gauss-medállal tüntették ki, ehhez *Max von Laue* mondott laudációt. Amerikában 1962-ben nyerte el az állampolgárságot, 1972-ben kapta meg az Amerikai Fizikai Társaság *Davisson–Germer*-díját. 1977-ben a Fehér Házban *Jimmy Carter* elnök a „National Medal of Science” rangos kitüntetést sajnos már csak Erwin Müller lányának nyújthatta át: édesapja néhány hónappal előtte váratlanul elhunyt.

A pásztázó tűszondás mikroszkópok feltalálói

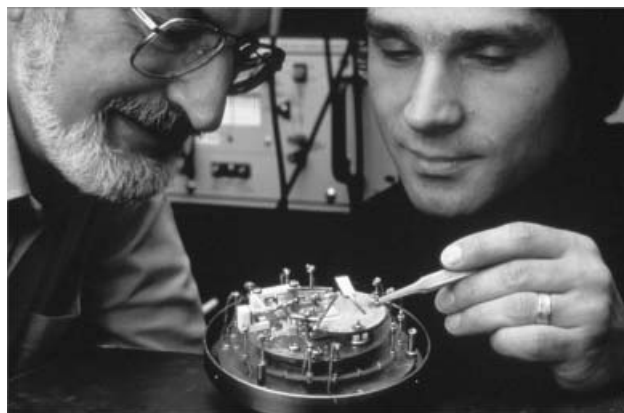
Russel D. Young (1931–) ugyancsak a Pennsylvaniai Állami Egyetemen volt PhD hallgató és – mondanunk sem kell – Erwin Müller tanítványa. A fokozat 1959-ben történt megszerzése után Erwin Müller továbbra is ott tartotta, kutatóként foglalkoztatta laboratóriumában. Megépített a laboratórium számára egy nagyfelbontású energiaanalizátort, mérte a téremisszió során kilépő elektronok energiaeloszlását, és aktívan közreműködött az alacsony hőmérsékletű térion-mikroszkóp kifejlesztésében is. 1961-től a National Bureau of Standards volt munkahelye, akárcsak *Bay*

Zoltánnak ebben az időben. Russel D. Young egy olyan kutatási projektben vett részt, ahol különböző anyagok felületeinek tanulmányozása volt a feladata. Erre a célra találta ki és építette meg pásztázó tűszondás készülékét, amelynek a „Topografiner” nevet adta (2. ábra).

Az ötlet elég kézenfekvő, addig mégsem jutott eszébe másnak (hacsak nem Erwin Müllernek). Egy téremissziós elektronmikroszkópban a fémtűből kilépő elektronokat most nem engedik messzire repülni, hanem közvetlenül a tű közelében helyezik el a mintát, amibe becsapódik az elektronsugár. Oldalt, akár csak a pásztázó elektronmikroszkópnál, egy szekunderelektron-sokszorozó fogja fel és erősíti tovább az elektronsugár által bombázott területről jövő, a szekunder elektronok által szállított információt. A lényeges eltérés a pásztázó elektronmikroszkóptól az, hogy most nem a katódból (jelen esetben a tűből) kilépő elektronsugarat térítik el és vezetik végig soronként a mintán, hanem magát a tűt mozgatják a minta felett, előírt módon, egymás utáni sorokban. Ezt a finom mozgást piezoelektromos úton oldják meg, mind x , mind y , mind z irányban. Russel D. Young méréseinél a topografiner nyújtotta információt szinkronizált X-Y író jelenítette meg. A feloldási határ 0,3 nm lett volna, de a kiszűrhetetlen vibrációk miatt ezt mégse lehetett elérni. 1971-ben befejeződött a projekt, ekkor publikálta Young az elért eredményeket. Még tíz évig dolgozott a cégnél, részben kutatói, részben adminisztratív munkakörben. Abban az évben ment nyugdíjba, amikor Európában két fizikusnak sikerült minőségi javulást elérnie a pásztázó tűszondás technikában.

1981-ben *Heinrich Rohrer* (1933–) svájci és *Gerd Binnig* (1947–) német fizikus három évi közös kísérletezés után az IBM Zürich melletti kutató laboratóriumában egy olyan pásztázó tűszondás mikroszkópot hozott létre, amelyben elvileg új utat választottak a minta domborzatának letapogatására (3. ábra). A tűt olyan közel vezették a minta fém felületéhez, hogy a tű hegye (szerencsés esetben egyetlen atom) és a minta felületének atomjai között úgynevezett „alagútáram” alakulhasson ki. Klasszikusan tekintve nem ér hozzá a tű a mintához, de olyan közel van hozzá,

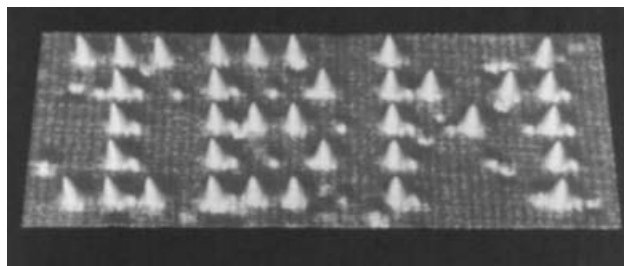
3. ábra. Heinrich Rohrer és Gerd Binnig a Nobel-díjat érő találmánnyal, a pásztázó alagútmikroszkóppal.



hogy a kvantummechanikai alagúteffektusnak megfelelően átugrálnak elektronok a mintáról a tűre és viszont. Ha elektromos tér van jelen (a tű negatívabb a mintánál) akkor az elektron átugrása a tűről a mintára valószínűbb, mint fordítva, kialakul az alagút-áram. Ez az áram rendkívül érzékeny a minta és a tű távolságára, 0,1 nm-es távolságváltozás esetén tízszeresére nőhet, vagy tizedére csökkenhet. Azt is mondhatjuk, hogy egy nagyságrenddel érzékenyebbé tették Young topografinerét és alkalmas felfüggesztéssel nagyrészt megoldották a vibráció problémáját is.

Heinrich Rohrer Zürichben az ETH-n, a zürichi műegyetemen végzett 1951-ben, *Wolfgang Pauli* (1900–1958) és *Paul Scherrer* (1890–1969) tanítványa volt. Doktori munkájaként szupravezetőkben fellépő kicsiny hosszváltozásokat kellett mérnie – már ekkor megismerkedett a mérésgyilkos vibráció problémájával. 1963-ban kezdett dolgozni az IBM zürichi laboratóriumában, ahol többek között antiferromágnességgel és kritikus jelenségekkel foglalkozott 1978-ig, egy új, fiatal munkatárs belépéséig. Gerd Binnig sokáig a zenei és a fizikusi pálya között ingadozott; szépen hegedült és beat együttesekben gitározott. Saját bevallása szerint egyetemi tanulmányai sem hagytak mély nyomot benne, csak azt élvezte igazán, amikor diplomamunkáján dolgozott. 31 évesen, doktoriának megvédése után lépett be az IBM laboratóriumába, ahol kedvező munkahelyi légkörre talált és kellemes barátra lelt Rohrer személyében. Közös munkájuk eredménye, amit ők pásztázó alagútmikroszkópnak (Scanning Tunneling Microscope) neveztek el, méreteit tekintve nem nagy (elférne akármelyik feltaláló tenyerén), számítógépekkel összekapcsolt működését, teljesítményét tekintve viszont villámgyorsan kivívta a szakértők elismerését.

Gerd Binnig munkatársaival együtt 1986-ra kifejlesztette a pásztázó tűszondás mikroszkópok kereskedelmi forgalomban kapható jelenlegi legjobb (és nem



4. ábra. IBM felirat 35 xenonatomból, atomerő mikroszkóppal felvéve.

is a legdrágább) változatát, az atomerő mikroszkópot (Atomic Force Microscope). Ezzel már nemcsak elektromosan vezető anyagok felülete vizsgálható. Nem kell hozzá nagyvákuum (olykor még kicsi sem), biológiai makromolekulák, akár még élőlények is vizsgálhatók vele. Felbontása a legjobb transzmissziós elektronmikroszkópokéval vetekszik, az egyatomos tűcsúcsok esetén 0,1 nm. Egyetlen hátránya, hogy lassabban dolgozik, akár 5 percre is szükség lehet egyetlen kép elkészítéséhez. Binnigék ahhoz is értettek, hogyan szemléltessék találmányuk teljesítő képességét: tűszondájuk segítségével 35 xenonatomból kirakták az IBM betűket egy atomsíkra, majd ezt lefényképezték és publikálták (4. ábra).

Rohrer és Binnig a Hewlett-Packard-díj és más kiüntetések után 1986-ban megkapták a fizikai Nobel-díjat. Pontosabban csak a felét, a másik felét az akkor már 80 éves Ernst Ruskának ítélte a svéd Nobel-díj bizottság. Az elektronmikroszkóp több mint fél évszázados történetében ez volt az első alkalom, hogy Nobel-díjjal tüntették ki a feltalálókat. Ha ezt Erwin Müller megérhette volna!

Szolgálja ez a cikk is a róla történő méltó megemlékezést, hiszen idén ünnepelhetjük nemcsak az elektronmikroszkópért adott Nobel-díj 25 éves évfordulóját, de június 13-án lenne Erwin W. Müller 100. születésnapja is.

VÉLEMÉNYEK

ENERGIA, CIVILIZÁCIÓ, KULTÚRA, TÚLÉLÉS – I.

Szergényi István

az ENSZ EGB Energia Bizottságának volt elnöke

Hazánk a világ energiatermelésében és -felhasználásában egyaránt csekély mértékben vesz részt, a globális folyamatok viszont nagy hatással vannak rá. Rövid

összefoglalónk civilizáció(in)k energiafüggősége miatt az energiával kapcsolatos kérdések sokoldalú megközelítésére törekszik.

A *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztőbizottság állásfoglalása alapján „a *Fizikai Szemle* feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.

Az energetikai korszakok gyorsulva követik egymást

Az ember sorsát mindenkor döntő módon befolyásolta a saját izomerejével végzett munkáját meghaladó természeti energia igénybevétele. Ezzel kapcsolatban – visszatekintve – a sok ezernyi nemzedéket átfogó történetben több forradalmi változást lehet követni. A tűz egyszerű használata néhány százezer évig, az állati erő alkalmazása körülbelül tízezer évig tart(ott). Pár száz éves az összes energiafelhasználásnak ma is a négyötödét kitevő fosszilis energia kora, azon belül a kőolajé mintegy 150 év. A legújabb korszakban jelent meg a nukleáris energia, mostantól pedig (remélhetően) bekövetkezik a megújuló energiák reneszánsza. Eddig az uralkodó energiák periódusai egyre rövidülő szakaszokban követték egymást. Az, hogy az újabb radikális változás mikor és hogyan jön el, fokozatosan-e vagy hirtelen, nem jósolható meg. De hogy eljön – a természet kiuzsorázása következtében – az biztos. Korábban volt idő az újhoz való alkalmazkodásra, de nem tudjuk, hogy az a következőkben is így lesz-e. Hétköznapijainkban inkább az energia növekvő ára, mintsem annak fenyegető hiánya az aggasztó. Nem kétséges, hogy ha a jelenlegi irányban haladunk, kritikus helyzet alakulhat ki. Ezért a pazarlással jellemezhető status quo fenntartása helyett az egyéneknek, a kormányoknak és a nemzetközi szervezeteknek egyaránt a megújulást kell választaniuk.

Az energia és a civilizáció fogalmáról

Valahányszor az energiaproblémát a civilizációval összefüggésben emlegetjük, olyan kérdéssel szembesülünk, amely óhatatlanul felveti mindkét fogalom esetében a hétköznapi értelmezésből való kilépést is. Az *energeia* (ἐνέργεια) szó legalább két és fél ezer évvel ezelőtt jelent meg, olyan fogalomként, amelyik az ógörögben isteni tettet vagy bűvös cselekedetet jelentett, *Arisztotelész* pedig a megvalósultságra, a működésre, a változásra való képesség kifejezésére használta.¹ A megvalósultság és a lehetőség (dünamisz) a létezők két egymást feltételező és egymástól elválaszthatatlan összetevője. Kortársunk, *Howard Van Till* [1] fizikus pedig azt a gondolatot veti fel, hogy Isten olyan világot teremtett, amelyben a benne rejlő lehetőségek beavatkozása nélkül aktualizálhatók. E lehetőségek felismerése és kiaknázása pedig éppen az embernek lehet az osztályrésze, aki több-

¹ Arisztotelész szerint a megvalósultság annyit jelent, hogy egy dolog megvan, de persze nem úgy, mint ahogy lehetőség szerint létezőnek mondjuk. Szerinte a lehetőség annyit jelent, hogy vagy egy másik tárgy részéről képes valami hatást elszenvadni, vagy ez tud egy másik tárgyra hatni. A lehetőség és a megvalósultság pedig a létezők két egymást feltételező összetevője. „A lehetőség nem semmi, nem a lét teljes hiánya, hanem viszonylagos nemlét: a valós lét hiánya az annak megszerzésére képes létezőben.” *Aquinói Szent Tamás* arra mutat rá, hogy kétféle lét van, tudniillik a megvalósult és a lehetőség szerinti.

kevesebb sikerrel él is ezzel, valahányszor tudását a természetre alkalmazza. Ezt teszik a természetkutatók. A mai átlagember azonban leginkább a kőolajat, a szénét, a földgázt és a villamosenergiát érti az *energia* szó alatt. E kettőség jellemzi napjainkban az energia értelmezését. Miközben tehát a mibenlétére vonatkozó évezredes rejtély nem oldódott meg, az energia a hétköznapi élet, sőt az emberiség fennmaradásának nélkülözhetetlen és kikerülhetetlen tényezőjévé vált.

A különböző kultúrákat, a problematikus fogalomként kezelendő civilizációkat² a kivételes emberi adottságok, készségek hozták létre. Az ember kezdeti, fizikai energián alapuló tevékenysége során felhalmozott tapasztalatok a természetben egyedülálló konverziós folyamatban tudássá integrálódtak, és ráépültek egy-egy adott kultúrára. Így jöttek létre a különböző civilizációk, köztük a nyugati is. Egyet kell értenünk *Berényi Dénessel* [2], amikor a következőket írja: „Szinte minden nagy kultúra alapját valamilyen vallás képezi, de egyre inkább részét képezi a művészet, az irodalom és a tudomány is. A belőlük táplálkozó, a mindennapi életben megnyilvánuló gyakorlat a civilizáció.” Röviden úgy fogalmazhatunk, hogy „a civilizáció a felszín, a kultúra a mély”. Arra, hogy a kultúra miként hathat a világ energiaellátására, a későbbiekben térünk vissza.

A civilizációk életképessége és az erőforrások

Mi a titka az egyes civilizációk életképességének? Vajon a miénk, amit ma nyugati típusúnak nevezünk, fennmaradhat-e, és ha igen, akkor meddig? Mi lesz ebben a szerepe a fogyatkozó természeti erőforrásoknak és az emberi tudásnak? A tapasztalatok és a felhalmozott sokszínű tudás – mintegy első globalizációs folyamatban – megalapozták a tudományt, majd egyre több természeti erőforrást bevonva kialakította a technológiákat.

Az eredetileg a Nyugatról kiinduló technológiai civilizáció immár szerte a világon szétsugárzott, és az egész emberiség potenciális közkinségévé vált. Megtartása érdekében ismét kollektív szellemi erőfeszítésre van szükség. Az ez irányt megnyilvánuló igény azzal arányosan növekszik, ahogyan szaporodik az emberi-

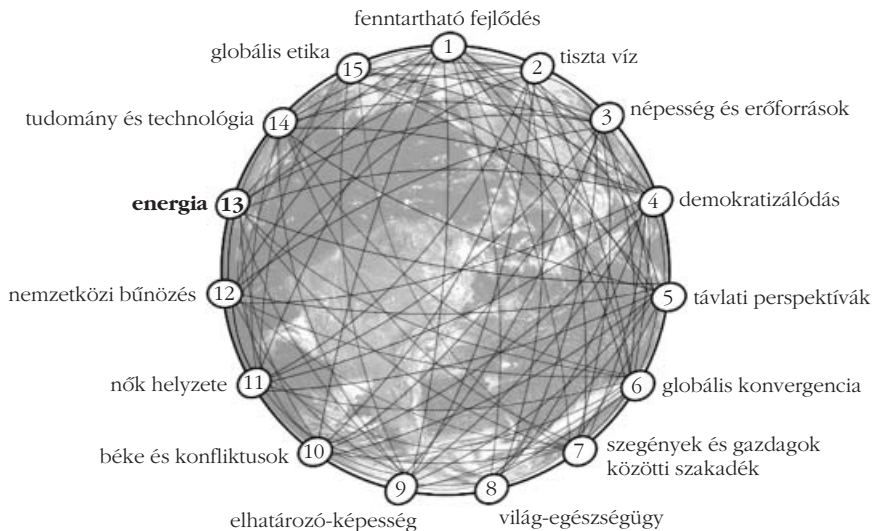
² A világ civilizációi az emberiség történetének utóbbi 4–5000 éve alatt keletkeztek. (Magát az elnevezést – *Claude Bélanger* szerint – a latin *civis* szó bázisán a 18. században – először az enciklopédisták használták.) A régi civilizációk közül már több eltűnt. Így a sumér és a maja civilizáció a túlzott öntözés, vagy az erdőirtás által okozott termőföld-szikesedésnek eshetett áldozatul, ugyanis mindkét beavatkozást élelmiszerhiány követte. A „nyugati civilizáció” kialakulása i. sz. 8–9. századra tehető. Tudni illik, hogy a Nyugat már azt megelőzően is *Nyugat* volt, hogy elkezdett volna modernizálódni, hiszen ez az elnevezés a klasszikus görög–római örökséggel, a kereszténységgel stb. vette kezdetét. 1500 után pedig – a földrajzi felfedezéseket követően – terjeszkedni kezdett a világban, és a 18. századtól – az energetika fejlődésével összefüggő ipari forradalommal, illetve a kezdődő modernizációval – növekvő hatást gyakorolt a többi civilizációra. Ez azonban nem azt jelenti, hogy az újonnan modernizálódott társadalmak a nyugati társadalmi mintát is átvették volna.

ség, illetve ahogyan fogatkoznak a természeti energiaforrások.³ A múlttal összevetve a megoldáshoz ma már jóval kevesebb idő áll rendelkezésre, mivel a veszélyeztető tendenciák – közöttük a természet kizsákmányolásának folyamatai – felgyorsultak.

Emlékeztetünk arra, hogy a korai civilizációkban a termőföld és a víz volt a két legjelentősebb erőforrás. Történelmi példákból valószínűsíthető, hogy a régi Egyiptom, Kína és India fennmaradása – szemben a (sumér, maja stb.) eltűnt civilizációkkal – többek között a fáraók, a császárok és a maharadzsa (a föld- és vízgazdálkodást is) erős kézzel irányító államainak köszönhető.⁴ Mára a föld és a víz mellé felsorakozik az ásványi nyersanyagok egyre bővülő köre, azon belül nagy súllyal az energiahordozók. A következőkben bemutatandó sokasodó kihívások és az említett tapasztalatok felhívják a figyelmet arra, hogy a civilizáció(ink) fenntartásában az államoknak egyre fontosabb szerepe lesz.

Az energiagondok, mint az emberiség előtt álló kihívások egyike

Amellett, hogy az egyes országoknak számos egyedi problémával kell megküzdeniük, egyre több, az egész világra nehezedő globális kihívással is szembe kell nézniük. Ezek közé tartozik a túlnépesedés,⁵ az egy főre jutó termőföldterületek erőteljes csökkenésével összefüggésben jelentkező élelmiszer-, valamint vízhiány. Globális problémává válik a klímaváltozás, a városiasodás,⁶ a migráció, nem utolsósorban az energiahíány. Az OECD-IEA⁷ szerint jelenleg másfél milliárd ember



1. ábra. 15 globális kihívás. Forrás: www.millennium-project.org

nem jut villamos energiához,⁸ az ENSZ pedig 15 – egymással is kölcsönhatásban levő – globális kihívást tart számon (1. ábra). Így napjainkra merőben új helyzet alakult ki. Ezért bizonyossággal állítható, hogy új típusú (nemzetközi) együttműködésre, új intézmény- és új értékrendszerre van szükség. Ha nem tudunk megoldást találni a seregnyi kihívásra, akkor képtelenek leszünk a szegény országok számának növekedését megállítani, de még az erősebb államok is a szakadék szélére kerülhetnek. Ráadásul, egy-egy probléma remélt megoldása nem elegendő. Ha minden más válságjelenség enyhülne is, csak az energetikáé nem oldódna meg, az önmagában is súlyos következményekkel járna. E miatt elfogadhatatlan, hogy a jelenlegi válsághelyzetből való kilábalási esélyek interpretálásában súlyához viszonyítva kevés szó esik az energetikáról.

Az ipari és mezőgazdasági forradalmak jó példák az energiafelhasználás más területekre gyakorolt hatásának illusztrálására. Közülük az első szerepe az energia (a szén) felhasználása révén közzismert, a másodiké kevésbé. Ez utóbbi egyik következménye – az egyre energiaigényesebbé vált, gépesített és kemizált mezőgazdaság élelmiszertermelésének bővülésével párhuzamosan – a 20. század elejétől robbanásszerűen szaporodó népesség⁹ (2. ábra). Növekedési üteme – akárcsak az

³ Természetesen nem csak az energiahordozó-készletek korlátozottságáról van szó. A civilizáció „működtetése” érdekében nem szabad megfeledezni a fémtartalmú és az egyéb ásványokról sem, hiszen azok készletei szintén végesek. Különösen nagy súlyt kell fektetni a fémek újrahasznosítására.

⁴ Kr. e. a harmadik évezredben az Egyiptomi Óbirodalom idejében egyesült ország a fáraók korlátlan uralma alá került. A görögök és egyéb fiatalabb kultúrák az egyiptomit tekintették mintaképüknek. A Kr. e. 3. században a külső támadások és a belső harcok miatt szétesett kínai birodalmat újjászervezték, megerősítve a központi hatalmat, szigorú törvényeket hozva. Ugyanekkor szervezték egységre az indiai birodalmat is.

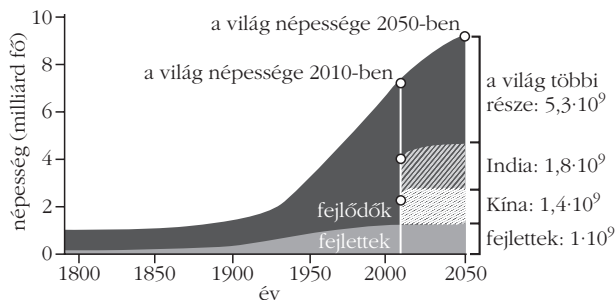
⁵ A népességnövekedés jelenlegi ütemének tarthatatlanságát jellemzi az az abszurditás, amely szerint, ha az ütem nem változna, 780 év múlva a Föld minden szárazföldi négyzetméterére jutna egy ember. A. Bartlett, a Coloradói Egyetem emeritus professzora (fizika): <http://youtube.com/watch?v=RdOk521m9WA>. <http://en.wikipedia.org/wiki/Overpopulation>.

⁶ Az ipari forradalom előtt az embereknek kevesebb mint 10–20%-a élt városokban. Az arány 2008 óta több mint 50%. A városi ember fajlagos energiateljesítménye nagyobb, mint a vidéken élő. (ISN / Ecosystems. 22. July, 2009.)

⁷ OECD-IEA = Organisation for Economic Co-operation and Development. International Energy Agency

⁸ Az Európa Parlament 2010. októberi ülésén Ban Ki Mun főtitkár arra emlékeztetett: „Naponta egymilliárd ember tér éhesen nyugovóra, idén pedig 64 millió ember él szélsőségesen szegény körülmények között. Itt az ideje a gyakorlatba átültetni a millenniumi fejlesztési célokkal és a szegénység ellen küzdelemmel foglalkozó New York-i csúcstalálkozón tett kötelezettségvállalásokat.”

⁹ Terjedelmi okok miatt nem tárgyalhatjuk az emberiség korai történetének tűz-, víz- és szélenergia-forrásait, jóllehet civilizációk már akkor is léteztek. Az ipari forradalommal a korábbiakhoz képest összetettebb korszak kezdődött a fosszilis energia, először a szén felhasználása révén. A gőzgép produktívabbá tette a termelést, megszabadítva azt a munkaerő biológiai korlátaitól. A modern vegyipar először a kőszén bázisán alakult ki, de látványos fellendülése a kőolaj- és földgáz-nyersanyagra történt áttérésének tulajdonítható. A kőolaj 20. századi felhasználása elősegítette a közlekedés és a kereskedelem nagyarányú bővítését is. Ezen a leegyszerűsített fejlődési íven haladva jutott el a nyugati típusú civilizáció a mai állapotáig, amely immár az informatikai forradalommal gazdagodik.



2. ábra. A világ népességének várható alakulása. Forrás: www.fas.org/man/eprint/joe2010.pdf

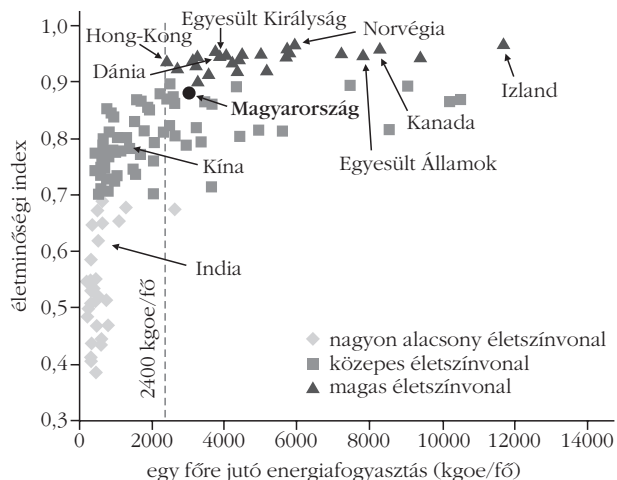
energiafelhasználás – már mintegy negyed százada meghaladja a gabonatermelését. (Nagyrészt ezért ma jogosabban beszélhetünk túlnépesedésről, mint *Thomas Malthus*¹⁰ idejében.) A fejlett országok lakosai sem mondhatják el, hogy őket nem érinti – például – az afrikai országok éhezőinek problémája, hiszen ha nem lesz mit enniük, ez utóbbiak el fogják árasztani az előbbi országokat.¹¹ Kőolajszármazékok híján megbénulna a jelenlegi közlekedési és szállítási rendszer, földgáz nélkül pedig százmilliók maradnának fűtés nélkül a világon. A gondot az jelenti, hogy e két, az életminőségünket meghatározó energiafélése közül a kőolaj globális termelése a tetőzés környezetében van.

Az életminőség, az energia és az állami szerep

Egyre nyilvánvalóbb, hogy az élet minősége nem fejezhető ki egyszerűen a fajlagos GDP mutatóval. Az ENSZ által újabban kimunkált HDI (Human Development Index) figyelembe veszi a várható élettartamot, az oktatási színvonalat, a jövedelmet, a környezetvédelem helyzetét és az energiafelhasználást is. Ez utóbbival kapcsolatban a nemzetközi összehasonlítások azt mutatják, hogy az energiafelhasználás évi 2,6 toe/fő (toe = tonna olajegyenérték; 1 toe = 41,868 GJ) „határérték” alatt jelentősen növeli az életminőséget, felette azonban egyre inkább az említett egyéb tényezőknek jut szerep. A HDI értéke optimálisan: 1 (a fejlett országokban általában 0,9 felett van). Magyarországot mutatója a 2005. évi adatok alapján 0,88 volt (amit a 3. ábrán a fekete kör jelez). Figyelembe véve az említett határhoz közel eső egy főre jutó energiafelhasználásunkat, országunkban a racionálisabb, a komparatív előnyöket realizáló (vagy ígérő) termelési szerkezet (mezőgazdaság, élelmiszeripar, információtechnológia, egészségturizmus stb.) kialakítása mellett egyre nagyobb szerepet kell kapniuk az egészségügyi, oktatási, kulturális, kutatási stb. területeknek. Az

¹⁰ Malthus túlnépesedés veszélyére vonatkozó egykori (1798) figyelmeztetései (akkor a világ teljes népessége nem volt több, mint ma a fejlődő világ éhezőinek létszáma) mára egyre időszerűbbek.

¹¹ Egy kalória növényi protein iparszerű előállításához körülbelül 2, állathoz (marha) 25 kalóriára van szükség. Jellemző, hogy az USA-ban az élelmiszerek a termelőhelytől az étkezőasztalig átlagosan 1600 mérföldet tesznek meg. A teljes élelmiszerlánc energiaigénye teszi ki az USA energiafelhasználásának közel ötödét, ami egy főre vetítve 400 gallon olajegyenértéket jelent.



3. ábra. Életminőség és energiafelhasználás. Forrás: <http://forum.prisonplanet.com/index.php?topic=150270.0>

államnak – a világ jelenségeire való jobb rálátási lehetőségére tekintettel – a sok kihívással való szembenézésben azért is növekvő szerepet kell kapnia,¹² mert azt betölteni a jobbára csak a gazdasági társaságok partikuláris érdekeiket szolgáló neoliberális piaci szemlélettel¹³ (néhány korábbi évtized eredményeket is hozó, de vitatható gyakorlatával szemben) már nem lehetséges. Amikor annak filozófiai előzményét, a „laissez-faire” elméletet¹⁴ kialakították, merőben mások voltak a technikai, a közgazdasági és a demográfiai körülmények. Be kell látni, hogy az előttünk tornyosuló problémahalmaz megoldása – benne az energiáé – az egész világot érintő, távolról sem csak piaci ügy.¹⁵ Márpedig amennyiben nem helyesen reagálunk a globálissá vált kihívásokra, kaotikus helyzet alakulhat ki, amelyben – az embert játékszerévé téve – majd maga a természet „dönt”. A kaotikus helyzet elkerülése érdekében paradigmaváltásra van szükség energetikai vonatkozásban is, amelyet nyilvánvalóan csak a kormányoknak van esélyük levezényelni.

A környezeti problémák jellemzése

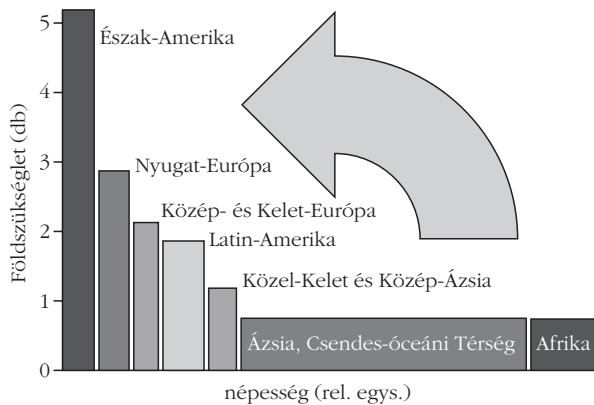
Hangsúlyosan kell szót ejteni az energiafelhasználással is összefüggő, a civilizációnkat egyre jobban fenyegető környezetszennyezésről. Mérséklésében –

¹² 2030-ra Kína és India elérheti a világ energiafelhasználásának a 27, illetve 12%-át.

¹³ Hozzáteesszük, hogy a sokasodó problémák támasztotta feladatokat mindezekén túl a piac önmagában már azért sem tudja megoldani, mert az csak arra képes, hogy forgalomba hozza a reálszféra eredményeit.

¹⁴ A legenda szerint 1680-ban Colbert francia pénzügyminiszter üzletemberekkel tárgyalt arról, hogy az állam miként tudná támogatni a kereskedelmet. Ekkor egy bizonyos *Le Gendre* kijelentette: „Laissez-nous faire” (hagyjon minket cselekedni). Ezt a filozófiát később a következő kifejezéssel népszerűsítették: *Laissez faire et laissez passer* (hagyjon minket cselekedni, és a dolgok menni fognak). (<http://en.wikipedia.org/wiki/Laissez-faire>)

¹⁵ Könnyebb lenne a piac mindent megold szemléletet egy darabig még fenntartani, ha rendelkezésre állna egy századra, de legalábbis hosszú évtizedekre elegendő kőolajvagyon. De már bizonyosan nincs annyi.



4. ábra. Hány Föld kellene? Forrás: Jay Kimball.

következésképpen – az energetikának és a vele összefüggő rendszereknek nagy lehetőségük van. Várhatóan „könnyebb” lesz visszafogni a szennyezést, ha az koncentráltan jelenik meg (például az erőművekben), és nem a diszperz kibocsátóknál (például a benzinüzemű közlekedés).

A bioszféra a talaj, a víz és a légkör több százmillió év fejlődése után nyerte el jelenlegi minőségét. Valóságos csoda, hogy hőmérséklete a biogén hőmérsékleti zóna határain belül maradt, és a tapasztalható kilengések amplitúdója nem haladta meg az élet fennmaradását lehetővé tevő szintet, miközben a belsejében izzó állapotban levő bolygónk évmilliók óta a fagyos világűrben száguld. Ez valószínű annak a dinamikus egyensúlynak köszönhető, amelyet ebben az összetett kéregben az energia, a szerves és szervetlen anyag alig átlátható visszacsatolós rendszere biztosít. Ha azonban az ember kibillentí ebből az egyensúlyból a bioszférát, azt nehéz lesz visszaállítani. A klímaváltozás a legfenyegetőbb környezeti következmény. A témával foglalkozók nagy része¹⁶ (korántsem egésze) fogadja azt a feltételezést, hogy az antropogén emissziók (főleg a CO₂ és a metán) közrejátszanak a bioszféra hőmérsékletének emelkedésében. Ma még nem tudható, hogy az ökológiai rendszer miként és meddig viseli majd el a terhelésnövekedést. Az inercia ugyan még a megszokott mederben tartja a természet rendszereit, de a klíma-rendszer változása elindult, és ha igazán belelendül, nagyon nehéz lesz megállítani.

A globális környezetszennyezés mértékének jellemzésére – tehát nem csupán az energia által okozottakra – munkálták ki az „ökológiai lábnyom” mutatószámot. Ez a természetbe történő emberi beavatkozás hatását összegző jelzőszám. Azt fejezi ki, hogy az adott népesség mekkora területről fedezi a fogyasztásához szükséges erőforrásokat (ha/fő). Egyesíti a művelésbe vont területek nagyságát, az infrastruktúrával lefedett területnagyságot és a szennyezőanyag-kibocsátás semlegesítéséhez szükséges földmennyiséget. Ez W. Rees és M. Wackernagel szerint – a fenntartha-

tóságához – a Föld egy lakójára átlagosan 2,3 hektárnyi terület. A magyar mutató ennek körülbelül kétszerese, az USA-é közel tízszerese. A túllépésre jellemző, hogy az észak-amerikai életvitel globális kiterjesztése több mint öt, az európai három Földet igényelne (4. ábra). Csak az ázsiai és afrikai alacsony terhelési szint teszi lehetővé, hogy a Föld egészére „csupán” 30%-os többletterhelés jellemző,¹⁷ és egyelőre nem érzékelünk túlságosan nagy környezeti katasztrófát.

Téveszmék, valamint az energia befolyása az erőegyensúlyra

„Az optimisták úgy számítanak a technikára, mint gyermek a Mikulásra.”

(Jean Laberrere¹⁸)

„A kultúra az ember legősibb és legkorszerűbb, szükségszerű tevékenysége. Sorvadása, megszűnése az ember, az emberiség és a Föld globális pusztulását vonná maga után.”

(David C. Korten¹⁹)

Elsősorban: ejtsünk szót egy téveszméről. A világot érintő jelenlegi pénzügyi válsághelyzetből való kilábalási esélyek interpretálásakor háttérbe szorul az, hogy az energia fenyegető hiánya a többi kihívástól függetlenül is súlyos következménnyel járhat az emberiség számára. Ezzel összefüggésben a nyugati országok vezető politikusainak és közigazdásainak meglehetősen széles körét az a meggyőződés vezérli, hogy a tudomány és a technológia – miként eddig – a jövőben is megoldja az energiakérdést. Ezt a vélekedést örömmel veszi át a laikus média közvetítésével a széles közvélemény is. Még a tájékozott ember is, habár tisztában van a takarékoság jelentőségével, azt inkább másra hagyná, hagyatkozva arra a struccpolitikára, mi szerint a problémák eddig is megoldódtak és ezután is így lesz. Az energiaváltások nehézségeit, főleg azok rövidülő periódusai miatt, jobbra csak a természettudományok képviselői látják. Ezért fel kell világosítani az embereket arról, hogy a folytatkozó kölajvagyon miatt szükségszerűen közelgő energia-váltás nem pottyannhat az égből. A szénhidrogének előbb-utóbb elkerülhetetlen pótlása, vagy új villamos-energia-termelési rendszerek tömeges bevezetése jelenleg nem teljesen iparérett, ilyen kész technológiák alkalmazása többnyire még kutatást igényel. A siker viszont, mint mindig, bizonytalan.²⁰ A gyakor-

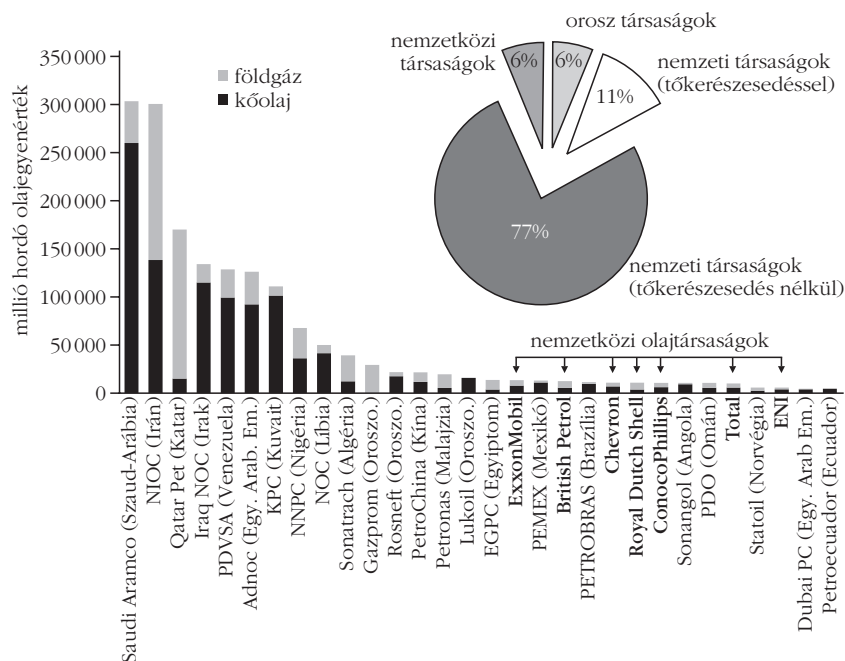
¹⁷ http://anubis.kee.hu/pdf/bscoko/Footprint_lev_a.pdf

¹⁸ Jean Laberrere, a TOTAL vezető geológusa volt, ma az ASPO (Association for the Study of Peak Oil and Gas) tanácsadója.

¹⁹ David C. Korten a The People-Centered Development Forum alapítója, *A tőkés társadalmak világuralma* című könyv szerzője. Ebben a műben hívja fel a figyelmet egyéb (elsősorban közigazdasági) téveszmékre.

²⁰ A technológiai fejlődés előre meg nem jósolható voltával leginkább maguk a tudósok vannak tisztában. Ezt Davynek, a róla elnevezett bányalámpa és sok más találmány tulajdonosának véleménye szemlélteti: „felfedezéseim közül a legjelentősebbeket tévedéseim sugallták”.

¹⁶ A klímakutatók túlnyomó része, az olajkutatókénak pedig körülbelül a fele hisz az klímaváltozás okának antropogén voltában. Több tudós elveti ezt az elméletet. (Doran et al. *Eos*. Vol. 90/3 20. January 2009. 22.)



5. ábra. A szénhidrogén vagyonok birtoklása. Forrás: www.ndu.edu/inss/docUploaded/Energy_VerrastroPPT.pdf

latba történő átültetés pedig még eredményesség esetén is jelentős időt igényel a kiépült infrastruktúrák és a meglévő eszközállomány méretei miatt.²¹ Ezért tudatváltozásnak kellene végbemennie, meghozzá nemcsak a politikusok és médiaszemélyiségek, hanem az átlagemberek milliárdjainak – ez utóbbiak ebben csak a takarékoság követelményének szükségszerű tudomásulvételével tudnak részt venni – a fejében is, meghozzá gyorsan. (Nem reménytelen-e ez a feladat?)

Másodsorban: már most érzékelhető, hogy a különböző régiók (civilizációk/kultúrák) energiaigényének és energiavagyon-ellátottságának földrajzi elkülönülése lappangó feszültség forrása. Ez ráakodik arra a tényre, hogy a fejlődő országok zömének kulturális hagyományai jelentősen különböznek a nyugatitól. Bár közzismert a Nyugat felől terjedő modernizáció és az iparosodás többi civilizációra gyakorolt hatása, az – a fokozatos technológiai felzárkózás dacára – nem (vagy alig) érinti a civilizációjukba mélyen beágyazódott kulturális gyökereket. Jó példa erre az olajban és/vagy földgázban gazdag, egyszerűen modernizálódó és nagy demográfiai feszítőerővel rendelkező egyes fejlődő országok (iszlamista) újjászületése, de árulkodó az is, hogy a kínaiak hogyan vélekednek a Nyugatról.²² Ezek az országok

²¹ Bár a radioaktivitást az előző századforduló környékén fedezték fel, a maghasadás ipari alkalmazására csak a múlt század közepén került sor. A fúziós energiára vonatkozó szabadalmat több mint fél évszázada jelentették be, de a gyakorlati alkalmazása még ma is kétséges.

²² Egy kínai küldöttség tartózkodott Párizsban, amikor MacMahon leverte a Kommünt. Vezetőjük így nyilatkozott: „Fiatalok vagytok, ti nyugatiak, szinte még történelmetek sincsen. De hát így volt ez mindig is: ostrom és kommuné, ez a történelem természetes menete.” (Egon Friedell). A több ezer éves kínai mentalitás aligha változott az utóbbi másfél évszázadban. A kínaiak felsőbbrendűség-tudata civilizációjuk több ezer éves teljesítményével magyarázható.

közös gazdasági régiókat (BRIC, SCO²³) hoznak létre, egyelőre azzal a céllal, hogy versenyképesek legyenek a Nyugattal, vagy akár fölébe is kerekedjenek annak. Ehhez azonban energiára van szükségük, amellyel nem mindegyikük rendelkezik elegendő mennyiségben, ami felszínre hozhatja, sőt ki is élezheti az imént említett lappangó feszültséget. A szénhidrogénvagyonnak csak kis része van a nagyfogyasztó Nyugat multinacionális társaságainak a birtokában (5. ábra). A hagyományos kőolaj kínálata legnagyobb részben a fejlődő nemzetállamokban áll rendelkezésre. Ez utóbbiak a vagyonból közel 90%-kal, a kitermelésből pedig körülbelül 70%-kal részesednek. Az energiáért való versengés, az egyes fejlődő és a fejlett régiók energiavagyonában mutatkozó jelentős eltérések alkalmat adhatnak a már meglévő vagy a

még csak lappangó feszültségek konfliktusokká fajulására.²⁴ A civilizációk összecsapásának veszélyét Huntington már az energiaprobléma számbavétele nélkül is leírta [3].

A pazarlás összefüggése az energia árának és értékének különbségével

A modern élet kétségtelen velejárója az energia pazarlása. Biztosan állítható, hogy – főleg a nyugati országokban – az „elegendő” energiához képest jóval többet használ fel az ember. A pazarlásba a bőség fals bővületében csúsztak bele a gazdag társadalmak. Pazarlásuk folytatása a sajátjukon kívül a többi civilizációt is veszélyezteti. Azaz a jövőben várható többletigény, netán többletfogyasztás zöméért „felelős”, demográfiailag túlsúlyba kerülő fejlődő világot szintén, főleg ott, ahol egyébként a népességgrobbanás gerjeszti az igénynövekedést, de saját energiavagyon nem található. (Megjegyzendő egyébként, hogy még Szaúd-Arábia is gon-

²³ BRIC: Brazília, Oroszország, India, Kína; SCO: Shanghai Cooperation Organisation: Kína, Kazahsztán, Kirgizisztán, Oroszország, Tádzsikisztán, Üzbegisztán.

²⁴ Kína határáig elkészült az ázsiai szállításokra épített orosz olajvezeték (ESPO). E nemzetközi projekt keretében a kínai fél részt vesz az orosz területen folyó kitermelésben. Kína ugyan a legnagyobb olajtermelők között szerepel, ennek ellenére a világ olajimportjában a második helyet foglalja el. Külpiaci politikájának köszönhetően egy olajválságra Kína jobban felkészült az USA-nál. Néhány kínai (és indiai) állami energetikai társaság olyan országokban is befektetett, ahol más nagy, magánkézben lévő olajtársaságok nem. Utóbbiakra esetleg szankciók vonatkoznak, esetleg saját kormányuk tiltotta meg nekik abban az országban a befektetést, esetleg a célországot sújtó ENSZ szankciók miatt tilos a belépés számukra. Ilyen országok Üzbegisztán, Irán és Szudán is, amely a kínai olajtársaságok egyik jelentős külföldi olajtartalékát jelenti (Hugyecz Attila).

dol az olaj utáni korra!)²⁵ Nem megengedhető, hogy az egyre zsúfoltabb és a tartalékait mindinkább felemészítő bolygónkon mindenki – főleg a nyugati polgár – a saját kénye-kedve szerint éljen. A döntéshozók feladata rávezetni a gazdag országokat energiafogyasztásuk önkorlátozására. Természetesen megelőzendő az is, hogy a fejlődő országok – ha lehetőségük nyílna rá – felvegyék a nyugati társadalmak jelenlegi pazarló mintáit. Ennek azonban – ha nem akarnak kényszerítő eszközöket alkalmazni – sürgősen meg kell teremteni a mentális feltételeit, méghozzá össztársadalmi szinten (az oktatás és a média szerepét figyelembe véve!).

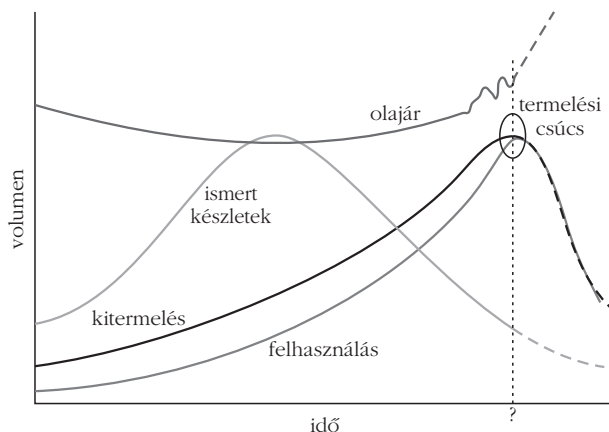
A pazarlás következményei először a kőolajnál válnak kritikussá. Elég utalunk arra, hogy a szállítás/közlekedés több mint 90%-ban a még ma is vezér energiahordozónak tekintendő kőolajtól függ, amelyet a keletkezéséhez viszonyítva 10^5 – 10^6 -szoros sebességgel termelünk ki [4]. De a pazarlás a többi energiára²⁶ is jellemző. A jelenséget különösen szemléletesen mutatja be az a példaszerű összehasonlítás, amely az ember fizikai teljesítőképességét az általa valóságban felhasznált energiával veti egybe. A táplálék (2500–3000 Kcal/nap) körülbelül 0,1 tonna/fő/év olajegyenértéket képvisel. Ezzel a számmal szemben a nyugati civilizáció emberét 2,5–5,0 tonna/fő/év olajegyenérték összes energiafelhasználás jellemzi.²⁷ A tetemes különbség nagy részét a természet véges (fosszilis) energiái, kisebb részét az ugyancsak véges hasadóanyagoké, valamint a megújulóké „adja”. A számoknál maradva ez azt jelenti, hogy a természeti energiák 25–50 (az emberi szervezet körülbelül 30%-os biológiai „hatásfokát” is figyelembe véve)²⁸ – 75–

²⁵ Azzal is tisztában kell lenni, hogy ha a fejlődő világ emberei átvinnék a nyugatiak pazarló beidegződéseit, a Nyugat hiába csökkentené károsanyag-kibocsátását és hiába takarékoskodna. Vagy mindenki csinálja, vagy nem fog menni.

²⁶ A földgáz a műtrágyagyártás legfontosabb nyersanyaga. Rossz hatásfokú elégetése pazarlás! Magyarország lakásainak energiafelhasználása túlzott, a nagy számú, nagyrészt gázfűtésű panellakás és a régi építésű, rosszul szigetelt lakások miatt.

²⁷ Egy amerikai ember 15–20-szor annyi energiát használ fel, mint egy afrikai vagy indiai.

²⁸ Biológiai energia felhasználásával történik többek között az enzimek, a hormonok és a vér képzése, a sejtek lebontása és újraképzése, az állandó testhőmérséklet, valamint a szervezetben lezajló folyamatok egyensúlyának, működésének fenntartása.



6. ábra. Az olaj árának várható alakulása és a termelési csúcs kapcsolata.

150) fantom-rabszolgaként szolgálnak ki egy-egy nyugati polgárt. Ha ezt végiggondoljuk – bármily nehéz is ezt leírni –, akkor belátható, hogy a technikai viszonyoknak köszönhetően „olcsón” jutunk hozzá az energiához – változatos minőségi igényeinkhez igazodva – a benzinkútnál, a konnektorból, a gázcsapból stb. Értékeljük-e ezt? Biztosan mondhatjuk, hogy nem.

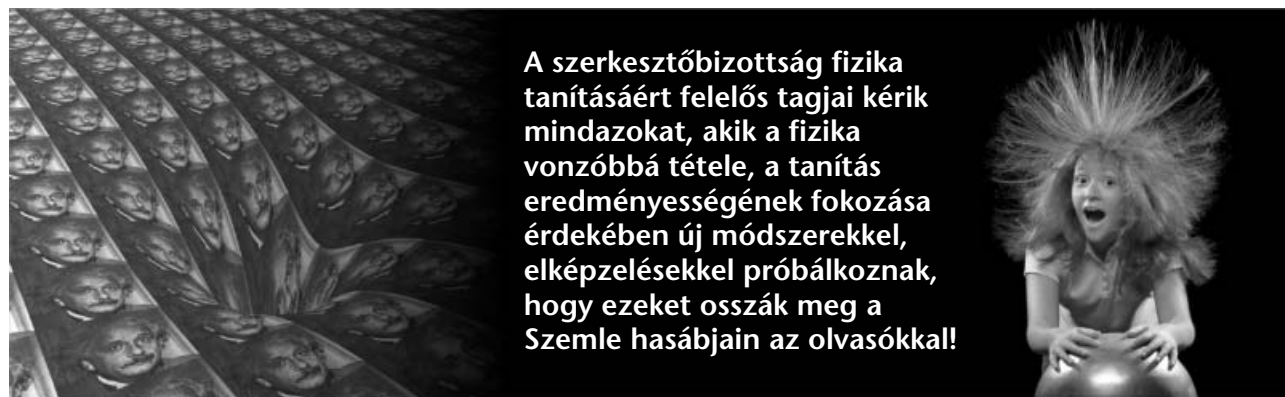
És meddig bírja a természet? Erre a kérdésre viszont nem tudjuk a választ.

A példa alapján annyit minden esetre be kell látnunk, hogy az árak – még ha nőnek is (6. ábra) – nem tükröz(het)ik az energia használati értékét, hiszen az szociális okok miatt gyakorlatilag *megfizethetetlen*. A probléma azért marad neuralgikus, mert a gazdaság, továbbá – kiszolgáltatottá válása miatt – a társadalom még akkor is érzékenyen reagál az árakra, ha azok alatta maradnak a használati értékét kifejező szintnek.

Folytatása következik.

Irodalom

1. Howard Van Till: When Faith and Reason Cooperate. *Christian Scholar's Review* 21 (1993) 31–34.
2. Berényi Dénes: *Tudomány és kultúra*. Typotex kiadó, 2010.
3. Samuel Huntington: *The Clash of Civilizations*. Foreign Affairs. 1993.
4. Szergényi István: A kőolaj és a civilizáció. *Magyar Kémikusok Lapja* 2007. 4.



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal!

TERMOAKUSZTIKAI ÉRDEKESSÉGEK

Beke Tamás
Nagyasszonyunk Katolikus Általános Iskola
és Gimnázium, Kalocsa

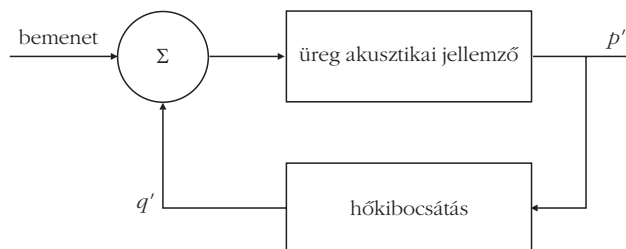
A termoakusztika a hő hatására létrejövő hanghatás vizsgálatával foglalkozik. Termoakusztikai instabilitásnak nevezzük, ha egy termodinamikai rendszerben a nyomás oscillációja párosul az egyenetlen hőátadással. Ha a rendszer által kibocsátott hő függ a nyomás és a rendszerben áramló gáz sebességének fluktuációjától, akkor egy visszacsatolási hurok jön létre, ami destabilizálhatja a rendszert; ezt szemlélteti a 1. ábra Matveev alapján [1]. A termoakusztika alapvető szerepet játszik számos technikai alkalmazásban, például folyékony tüzelésű rakétahajtóművek vagy gázturbinák és égőkamrák instabilitásai, illetve termoakusztikus motorok esetében. A kialakuló vibráció és a fokozott hőátadás rontják a berendezés működésének hatásfokát, illetve csökkentik az élettartamot.

Termoakusztikai vizsgálatok történeti áttekintése

A termoakusztikai vizsgálatoknak érdekes történeti előzményei vannak. Már két évszázad eltelt azóta, hogy az első termoakusztikával kapcsolatos megfigyelést publikálták és azóta számos eredmény született. Higgins 1802-ben felfedezte az „éneklő lánót”, amely akkor keletkezett, amikor egy gázégőt meggyújtott és a lángot egy mindkét végén nyitott csőbe vezette. A kísérletet elvégezte az egyik végén zárt csővel is, bizonyos esetekben ekkor is keletkezett hang. A hang frekvenciája megegyezett a cső saját „természetes” frekvenciájával. Sondbauss 1850-ben felfedezte, hogy az egyik végén zárt csőben nagy amplitúdójú oscilláció alakulhat ki, ha a cső zárt végét melegíti. A jelenséget elméletileg is vizsgálta.

Rijke 1859-ben felfedezte, hogyan lehet egy mindkét végén nyitott csőben hanghatást fenntartani. A kísérletekhez egy körülbelül 5 cm átmérőjű függőleges helyzetű üvegcsövet használt; elhelyezett egy fémhálót a cső alsó felében, majd a hálót izzásig hevítette gázláng segítségével. Miután eltávolította a lángot, erős hangot hallott, amely nagyjából pár másodpercig tartott, addig, amíg a fémháló ki nem hűlt. Rijke a lánggal való melegítés helyett kipróbálta az

A cikk a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Karán Fizika kutatási program (A közép- és a felsőfokú fizika oktatásának fejlesztésére irányuló kutatások) keretében készült. Külön köszönetem szeretném kifejezni a témavezetőnek, Papp Katalinnak (SZTE), Radnóti Katalinnak (ELTE) és Hopp Bélának (SZTE), akik hasznos tanácsokkal és javaslatokkal segítettek az írásban.

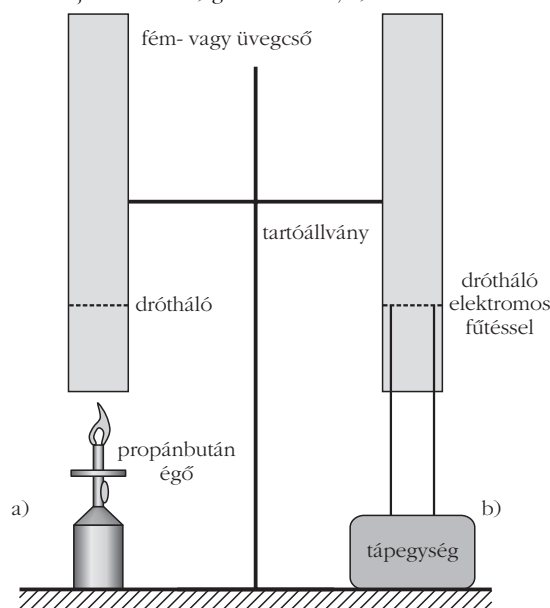


1. ábra. A termoakusztikai rendszer vázlata.

elektromos fűtést is, ehhez viszonylag nagy erősségű áramot kellett átvezetni a hálón, hogy az izzásba jöjjön (2. ábra).

A folytonos fűtés esetén folytonos hanghatást észlelt; a hang meglehetősen erős volt, még a három teremmel arrébb lévő kollégái is panaszkodtak miatta. (Rijkét eredetileg a jelenség a zenei hangok szempontjából érdekelte, de a kísérletek elvégzése után nem találta a csövet megfelelő „hangszernek”). A jelenségre az első magyarázatot maga Rijke adta, amely szerint a forró háló átadja a hőt a szomszédos légtömegnek, amely kitágul, sűrűsége csökken, emelkedni kezd a csőben, így egy felfelé irányuló áramlás alakul ki. A felemelkedő levegő kapcsolatba kerül a cső felső részének hidegebb falával, majd összehúzódik, sűrűbbé válik, ezáltal a cső hosszában sűrűségkülönbség alakul ki. Rijke szerint a nyomás megváltozása eredményezi, hogy a gáz a cső alsó felében kitágul, míg a felső részében összenyomódik.

2. ábra. Rijke-csövek: a) gázfűtésű cső, b) elektromos fűtésű cső.



Rijke tanársegédje, *Johannes Bosscha* fedezte fel a Rijke-cső „negatív párját”. A Bosscha-cső felső felében egy hűtött rács található, a cső bizonyos esetekben hangot bocsát ki.

Lord Rayleigh (John William Strutt) 1896-ban „hatásosan bemutatható jelenségként” említi a Rijke-cső hanghatását. Lord Rayleigh kísérleteihez egy 1,5 m hosszú, 12 cm átmérőjű acélcövet használt. A fémháló szintén acélból készült és a cső alsó részében, a negyedrésznél helyezte el. Az acélhálót annyira felfűtötte, hogy a kialakuló hang hatására megremegett a kísérleti labor. Bevezette a Rayleigh-integrál fogalmát, ami a rendszer stabilitását jellemzi [2].

1969-ben *Nicholas Rott* elkezdett egy publikációsorozatot, amely termoakusztikával foglalkozott. Az első jelentős témakör a Taconis-oszcilláció volt, amely akkor következik be, ha egy gázzal töltött csövet folyékony nitrogénbe merítenek és lehűtenek nagyon alacsony, kriogenikus hőmérsékletre. (A cseppfolyós nitrogén forráspontja $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, a fagyasztó berendezések üzemi hőmérséklete körülbelül $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$.) Amikor a csövet kihúzták a hűtőközezből, az berezonált és hangosan „énekelni” kezdett.

Annaswamy és munkatársai 2000-ben modellezték a gázfűtésű égőkamrákban zajló égést [3]. Égés közben a gáz áramlását laminárisnak feltételezték. A rendszerben fellépő termoakusztikai rezgéseket úgy szabályozták, hogy egy érzékeny mikrofont helyeztek el a „rezonátor”-üreg belsejében, amely szenzorként működött. A mikrofon jeleit digitális formában számítógépbe vezették, ahol egy program döntött arról, hogy be kell-e avatkozni a rendszer működésébe; ami úgy történt, hogy a rendszer belsejében egy hangszórót is elhelyeztek, ez töltötte be az aktuátor szerepét; a hangszóró vezérlését a számítógépes program végezte. A numerikus modellből kapott eredményeket kísérleti adatokkal is alátámasztották.

A hőátadás és az akusztika közötti dinamikai kapcsolat következtében alakul ki az egyenetlen égés az égőkamrákban, repülőgép hajtóművekben, gázturbinákban. Ezeket az instabilitásokat összefoglaló néven hajtómű-instabilitásoknak, belső égésű instabilitásoknak, vagy termoakusztikus instabilitásoknak nevezzük; következményük akár szerkezeti károsodás is lehet. A rakéták hajtóművei, a gázturbinák igen érzékenyek az égéstérben lezajló termoakusztikai instabilitásokra. A nyomás, illetve az áramlás oszcillációja következtében a motorban felerősödnek a vibrációk, növekszik a hőátadás, csökken a motor hatásfoka; a hajtómű ennek következtében akár meg is sérülhet (például repedések keletkezhetnek, vagy a rázkódás hatására alkatrészek szakadhatnak le), ezért a gyakorlatban legtöbbször célszerű megakadályozni a nagy amplitúdójú oszcilláció kialakulását. A szilárd és a folyékony hajtóanyagú hajtóműrendszerek is hajlamosak az instabilitásokra.

A környezetvédelmi normák manapság a repülőgépipar számára is komoly követelményeket állítanak. A nitrogén-oxidok kibocsátása az egyik legkényesebb témakör. A nitrogén-oxidok emissziója ará-

nyos a hajtómű hőmérsékletével. Ha az üzemanyag és a levegő aránya alacsony értékű, az előkevert és előporlasztott üzemanyag felhasználásával a motor hőmérséklete elfogadható értéken tartható, így csökken a hajtómű károsanyag-kibocsátása. Ezek az úgynevezett LPP (Lean Premixed and Prevaporized = szegényes előkevert és előporlasztott) hajtóművek sajnos hajlamosak arra, hogy bennük a lezajló termoakusztikus instabilitások következtében alacsony frekvenciájú (50–150 Hz) longitudinális hullám alakuljon ki. Ez az akusztikus hullám nagyon erőteljes („szkreccs”-nek vagy „buzz”-nak nevezik a mérnökök, ami zümmögést, mormogást, döngést, sercegést jelent magyarul), és akár a hajtómű fizikai károsodásához vezethet; sőt esetleg teljesen tönkre is mehet a berendezés.

A 20. században megjelentek, majd elterjedtek a sugárhajtású repülőgépek (jet) és a rakéták; az égés ezek hajtóművében nagyon nagy teljesítménysűrűségű (GW/m^3 nagyságrendjébe esik). Ezen energia nagyon kis hányada is elegendő ahhoz, hogy a hajtómű belsejében hanghatást keltsen és tartson fenn. A Rijke-cső azért került a kutatók figyelmének középpontjába, mert termoakusztikus szempontból jól használható modellje a sugárhajtású motoroknak és a rakéta-hajtóműveknek. Mivel a Rijke-csőben szintén fellépnek ehhez hasonló instabilitások, ezért alkalmas arra, hogy laboratóriumi körülmények között vizsgálják vele a „buzz-jelenséget” [4].

A Rijke-cső érdekes felhasználásáról számolt be *Pun* 2001-ben: egy Los Angeles mellett működő szemétegető hangos zajt bocsátott ki magából, ha az égetőmű a maximális teljesítmény felénél nagyobb teljesítménnyel üzemelt. Ez a zaj annyira hangos volt, hogy a környéken élők feljelentést tettek miatta. A szemétegető által keltett hang vizsgálatára Rijke-csövet használtak, ami a szemétegető egyszerűbb laboratóriumi modelljéül szolgált.

Sztochasztikus termoakusztikus folyamatok

A termoakusztikus folyamat szabályozása többnyire valamilyen speciális cél érdekében történik, ilyen például az égőkamrában az égés tökéletesítése, a hatásfok növelése, az égetőmű teljesítményének növelése, az égés során képződő nitrogén-oxidok mennyiségének csökkentése. A kísérleti adatokból az derült ki, hogy az égőkamrákat általában jól lehetett kontrollálni, de bizonyos esetekben mégis instabillá váltak.

A gyakorlatban alkalmazott égető- és hajtóművek esetében az égés zajos közegben történik, gyakran turbulens áramlási környezetben, sőt az égéstér különböző részein eltérőek az áramlás jellemzői. A teljesen determinisztikus modellek nem adnak számot több fontos jellemzőről. A gyakorlati életben használt égetőművekben sztochasztikus folyamatok is jelen vannak, ezeket nem lehet a teljesen determinisztikus modellekkel leírni. *Lieuwen* 2003-ban bemutatta, hogy a nyomásingadozások ciklusról ciklusra is változnak; statisztikai elemzést adott az égés instabilitá-

sának meghatározására. A sztochasztikus folyamatoknak komoly gyakorlati következményei lehetnek, módosíthatják a hajtómű lineáris és nemlineáris viselkedését is. Elképzelhető, hogy egy hajtómű stabil módon viselkedik a tesztelesek során, majd látszólag „minden indok nélkül” instabillá válik. Más esetben a „korábban jól működő” aktív vezérlés nem képes tovább szabályozni a rendszert. Érdekes módon a rendszer „újraindításával” ezek a jelenségek általában megszűnnek. A gyakorlati technikai alkalmazások során ezt a kiszámíthatatlan működési tartományt kezelni kell.

Termoakusztikus oszcilláció

A termoakusztikus elven működő eszközöket két nagyobb csoportra oszthatjuk: az egyikben állóhullámok alakulnak ki, a másik típusban haladó hullámok keletkeznek. Vizsgáljuk meg részletesebben a folyamatot!

A különböző csövekben (például Rijke-cső, Sondhauss-cső) kialakuló termoakusztikai hanghatás okainak elemzéséhez tekintsük át egy levegőoszlopban kialakuló hullámokkal kapcsolatos fontosabb tudnivalókat! A termoakusztika szerint a hanghullám a hőterjedés során alakul ki a „szonikusan indukált hőgradiens” következtében. Ha a cső mindkét vége nyitott, akkor Rijke-oszcillációnak nevezzük, ha a cső egyik vége nyitott, a másik zárt, akkor Sondhauss-oszcillációnak hívjuk a kialakult jelenséget.

A termoakusztikus berendezésekben valamilyen külső energiabetáplálás (például gázláng, vagy elektromos fűtés) következtében felforrósított „rács” körül a levegő hőmérséklete emelkedik, így növekszik a nyomás és a sebesség is; a felmelegedett gáz tágul, sűrűsége csökken. A gázmolekulák a cső hidegebb vége felé gyorsulnak, ezáltal a cső fűtött végénél a relatív gáznyomás csökken. Ahogy a molekulák lehűltek, más gázrészecskék gyorsulnak a fűtött csővég felé, ahol feltöltik az alacsonyabb nyomású térfogatrészt. Itt a molekulák újra „felmelegednek”, majd az egész folyamat kezdődik előlről. A gázmolekulák felgyorsulása és lelassulása az időben szinuszosan történik, végeredményként egy önfenntartó szinuszos, longitudinális gáznyomás-oszcilláció keletkezik. A hőforrás felülete körüli hőfluktuáció a legfőbb tényező a hangkeltésben. A Rijke-cső egyfajta „termoakusztikus pumpa”, amelyben a hőmérséklet oszcillációja „pumpálja” az akusztikus energiát a hallható hang szintjére [5]. Ha a hőforrás hőmérséklete emelkedni kezd, kialakul valamekkora hőmérséklet-különbség a hőforrás felszínének mindkét oldala és az azt körülvevő levegő között. A környező levegőben a sűrűségcsökkenés réteges, így természetes konvekciós áramlás indul meg. (A hőkonvekció során a hő a részecskék mozgásával terjed, ez az energia szállításának anyagáramlással összekötött formája.) Az átszállított hőteljesítmény ($\dot{Q}$) függ a rács hőmérsékletétől (T_r), a környező levegő hőmérsékletétől (T_l), a hőfor-

rás (rács) felszínének nagyságától (S_r), és az átlagos hőszállítási együtthatótól (h_{atl}) [5]:

$$\dot{Q} = h_{atl} S_r (T_r - T_l). \quad (1)$$

Ha egy gázban mechanikus zavar (zaj) keletkezik, akkor ez a zavar a „rugalmas” közegben tovább terjed, közben a gázban p' akusztikai nyomás és v' sűrűségfluktuáció alakul ki. Ezt a jelenséget nevezzük hangnak. A hang (terjedési) sebessége (v_b) kifejezhető a gáz akusztikai nyomásának és a sűrűség fluktuációjának segítségével:

$$v_b = \sqrt{\frac{dp'}{d\rho}}. \quad (2)$$

A termoakusztikus folyamatok során a csőben a nyomáshullám közelítőleg síkhullám, a cső szájának környékén kisebb mértékű toroidális viselkedést mutat. A cső száján kívül a hullámforma jellemzően gömbhullám. A legtöbb esetben hallható hang képződik a jelenség következtében. A termoakusztikus oszcilláció tulajdonképpen a hő hatására bekövetkező nyomás-oszcilláció keltette hanghatás. Amíg csak a longitudinális nyomáshullámokkal foglalkozunk a gázban, a következő hullámegyenletet kell megoldanunk [6]:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{\rho}{\kappa} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \quad (3)$$

ahol

$$\kappa = -V \frac{d\rho}{dV}. \quad (4)$$

A megoldás:

$$\Psi = A \cos(\omega t \pm kx) + B \sin(\omega t \pm kx). \quad (5)$$

Ahhoz, hogy állóhullámok alakuljanak ki a két hullámnak (y_1 és y_2) egymással szemben kell haladnia azonos amplitúdóval (A):

$$\Psi_1 = A \sin(\omega t + kx), \quad (6a)$$

és

$$\Psi_2 = A \sin(\omega t - kx). \quad (6b)$$

A két hullám összege:

$$\begin{aligned} \Psi &= \Psi_1 + \Psi_2 = \\ &= A [\sin(\omega t + kx) + \sin(\omega t - kx)] = \\ &= 2 A \sin(\omega t) \cos(kx). \end{aligned} \quad (7)$$

Ennek eredményeként a csomópontokban y értéke 0, minden félhullámban; a duzzadóhelyeknél a kitérés maximális, a csomópontoktól negyedhullámnyi távolságban. A csomópontok száma függ az állóhullám harmonikusainak számától és a határfeltételektől.

Abban a csőben, amelynek mindkét vége nyitott (Rijke-cső) a határfeltételek értelmében a cső mindkét végénél a kitérésnek duzzadóhelye van. Ebben az esetben:

$$L = \frac{\lambda}{2} n, \quad (8)$$

és $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ lehet. A kialakuló hangrezgés frekvenciája (f):

$$f = \frac{v_b}{\lambda} = \frac{v_b}{2L} n, \quad (9)$$

ahol L jelöli a cső hosszát, v_b a hang sebességét, n pedig a harmonikusok számát; az első ($n = 1$) alapharmonikusnak nevezzük.

Abban a csőben, amelynek az egyik vége zárt, a másik nyitott (Sondhauss-cső) a határfeltételek értelmében a nyitott végénél a kitérésnek duzzadóhelye van és a zárt végénél csomópontot találunk. Ekkor a felharmonikusok hullámhosszára:

$$L = \frac{\lambda}{4} (2n - 1), \quad (10)$$

ahol n a harmonikusok sorszáma. A kialakuló hangrezgés frekvenciája (f):

$$f = \frac{v_b}{\lambda} = \frac{v_b}{4L} (2n - 1). \quad (11)$$

Láthatjuk, hogy a frekvencia függ a harmonikusok sorszámtól, a közegbeli hangsebességtől és a cső hosszától. A cső hosszának csökkenésével az alapharmonikus hullámhossz is csökken, ennek megfelelően a felharmonikusok hullámhosszai is csökkennek (állandó gázbeli hangsebesség esetén). Valójában a hangsebesség nem állandó, mivel a hőmérséklet és a nyomás is folytonosan változik:

$$v_b(T) = \sqrt{\left(\frac{c_p}{c_v} - 1\right) c_p T}, \quad (12)$$

ahol c_p a levegő állandó nyomáshoz, c_v a levegő állandó térfogathoz tartozó fajhője, T pedig a levegő abszolút hőmérséklete.

A termoakusztikus folyamatok hasznosítása

Az eddigi példákból az derült ki, hogy a termoakusztikus oszcillációt lehetőleg ki kell küszöbölni; a termoakusztikus instabilitás azonban nem mindig káros jelenség. Aktív kutatás folyik abban az irányban is, hogy a pulzáló égőkamrákat, termoakusztikus motorokat hogyan használhatnánk primer mozgás-átalakítónak, hatékony fűtésre, vagy hűtőszekrénynek. Ehhez feltétlenül szükséges, hogy a berendezésben lezajló termoakusztikus folyamatokat alaposan ismerjük.

A Rijke-féle jelenség egyik ipari alkalmazása a széntüzelésű égőtérrel kapcsolatos. Ha az égéstérben az üzemanyag és a levegő arányát kedvezően változtatjuk, ezzel növelhetjük a berendezés hatásfokát. A széntüzelésű égőtérben a finom hamuszemcséknek majdnem 70%-a elillan a beszerelt szűrőberendezések ellenére, mert ezek a részecskék körülbelül 5 mm nagyságúak, ami túl kicsi ahhoz, hogy a hagyományos szűrők felfogják. Ha növeljük a berendezésben kialakuló akusztikus hullám energiáját, akkor ezek a parányi hamuszemcsék az ütközések során összeragadhatnak, így effektív méretük megnő, és ezeket a nagyobb részecskéket hagyományos szűrési eljárásokkal már könnyebb eltávolítani a füstből. Ebben az esetben az akusztikai oszcilláció kívánatos jelenségnek számít, amelyet a Rijke-csővel modellezhetnek a kutatók, hogy a szűrés szempontjából a lehető legkedvezőbb legyen a részecskék mozgása [4].

A termoakusztikus energiaátalakítás lényege, hogy a hanghullámok tulajdonságait használja a közvetlen hő-villamos energia konverzióhoz. A jövőben kiválthatja a kondenzációs hűtőgépeket és hőszivattyúkat, illetve versenytársa lehet a napelemeknek. Napjainkban intenzív kutatás folyik egy különleges fűtő-hűtő-áramfejlesztő eszköz létrehozására. A SCORE nevű berendezést négy brit egyetem, számos afrikai és ázsiai egyetem kutatói, a Los Alamosi Nemzeti Laboratórium, egy nemzetközi jótékonyági szervezettel karöltve, közösen fejleszteti [7]. A szerkezet biomasszával üzemel, tehát a faforgácstól kezdve a biogázokig rengetegféle anyaggal fűthető. A SCORE-ban tulajdonképpen termoakusztikus úton állítanak elő áramot. Az égés során keletkezett hőből hangot állítanak elő, majd ezt a hangot „árammá alakítják”, ami üzemelteti a hűtőszekrényt és ezen kívül áramforrásként is szolgál. Az elkövetkező néhány évben a projekt két állomáson megy keresztül. Elején a tudományos kutatásokra fókuszálnak. Ide tartozik egy biomasszával fűtött termoakusztikus hajtómű tervezése, amely áramgenerátorként és hűtőgépként is funkcionál, illetve olcsó és robusztus váltakozó áramú generátor tervezése, amely alkalmas a tömegtermelésre. Ezt követően a technológiát szeretnék megismertetni és elterjeszteni az érintett lakosság körében. Ha a berendezést sikerül úgy megépíteni, hogy gazdaságosan működtethető legyen, akkor a világ olyan részein is használható lesz, amelyek eddig nem is álmodhattak róla; így az eszköz Afrika és Ázsia legszegényebb vidékeire juttathatja el a hatékony fűtés, hűtés és áramfejlesztés megfizethető lehetőségét.

Végezetül bemutatok egy olyan példát, ahol a Rijke-csövet egy közlekedésbiztonsági vizsgálathoz használták fel. 2003-ban Norvégiában nagyszabású teszt sorozatot hajtottak végre az 1650 m hosszú Runehamar alagútban. A vizsgálatok célja az volt, hogy a közlekedési alagutakban kialakuló tüzesetekről pontosabb információkat szerezzenek. Sajnos a világ különböző pontjain számos olyan katasztrófa történt, amikor egy alagútban valamilyen okból tűz keletke-

zett és ennek következtében már nagyon sokan életüket veszítették. A tesztek során az alagútban különböző járműveket helyeztek el, majd az alagút egy adott helyén tüzet gyújtottak és vizsgálták, mi történik az alagút különböző pontjain. (Az alagútban még külön légáramlást is lehetett kelteni hatalmas teljesítményű ventilátorokkal.) A kutatókat is meglepte, hogy bizonyos esetekben (például amikor gyúlékony vagy robbanásveszélyes anyagot szállító tehergépjárműveket helyeztek el az alagútban) a tűz milyen sebességgel terjed, illetve az előzetesen számított értékeknél sokkal magasabb hőmérséklet alakul ki az alagútban. A kutatók észrevették, hogy az alagút bizonyos szempontból úgy viselkedik, mint egy vízszintes helyzetű Rijke-cső. Benne is kialakulhat gázoszilláció, hasonlóan a Rijke-csővekhez, az oszcilláció periódusideje néhány másodperc volt, tehát hallható hang nem keletkezett. A kutatók megállapították, hogy a tűz terjedését viszont befolyásolja ez az oszcilláció, ezért a Rijke-cső az alagútban terjedő tüzek „termoakusztikus” modelljéül szolgált. Remélhetőleg a vizsgálat hozzájárul ahhoz, hogy a jövőben biztonságosabb alagutakat tervezhessenek a mérnökök.

Összegzés

Ebben a cikkben néhány érdekes termoakusztikus jelenséget mutattam be, amelyek alkalmasak lehetnek arra, hogy a diákjainkat motiváljuk a termoakusztikus folyamatok megismerésére.

Irodalom

1. K. I. Matveev: *Thermoacoustic Instabilities in the Rijke Tube: Experiments and Modeling*. California Institute of Technology, Pasadena, CA, 2003.
2. Lord Rayleigh (J. W. Strutt): *The Theory of Sound* 2. (2nd ed.) Macmillan, London, 1896,
3. A. M. Annaswamy, M. Fleifil, J. W. Rumsey, R. Prasanth, J. P. Hawthout, A. F. Ghoniem: Thermoacoustic Instability: Model-based Optimal Control Designs and Experimental Validation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 8/6 (2000) 905–918.
4. S. M. Sarpotdar, N. Ananthkrishnan, S. D. Sharma: The Rijke Tube – a Thermoacoustic Device. *Resonance* 8/1 (2003) 59–71.
5. B. W. Entezam, W. K. Van Moorhem, J. Majdalani: Two-dimensional Numerical Verification of the unsteady thermoacoustic field inside a Rijke-type pulse combustor. *Numerical Heat Transfer A* 41 (2002) 245–262.
6. D. Fahey, P. Timbie: *Thermoacoustic Oscillations. Wave Motion and Optics*, Spring (2006) 1–9.
7. The SCORE thermoacoustics technology web site: <http://www.score.uk.com/research/default.aspx>

AKIKET AZ ELEKTROMOSSÁG SZIKRÁJA MEGCSAPOTT...

Daróczi Csaba Sándor
MTA MFA

Jelen írás apropója egy, az *Élet és Tudomány*ban megjelent cikk [1], amelynek középiskolás szerzője az intézetünkben (MTA MFA) végzett tudományos munkájának szakmai beszámolója mellett utal egy bizonyos nanotechnológiai kísérlettel kapcsolatos áramütéses esetre is. A történet nálunk szájhagyomány útján terjed, így szolgál figyelmeztető példaként, mintegy aláhúzva a munkavédelmi rendszabályok betartásának szükségességét. De nyomtatásban látva a cikket kisebb vita támadt közöttünk, hogy vajon nem lett-e félreérthető, nem csábít-e „rosszra”. Ezért az MFA Nyári Iskola szervezőjeként úgy gondoltam, hogy talán hasznos lenne a témát közelebbről is áttekinteni. Annál is inkább, mert a természettudományokkal való ismerkedést egyszerűen nem lehet túl korán kezdeni [2, 3], ami viszont magával hoz bizonyos veszélyeket.

Szóval a természettudományok kísérletes művelése *veszélyes üzem*. Sejtethetnek ebből valamit még Hollywoodban is, különben nem születne annyi ilyen tárgyú katasztrófafilm. Persze a veszélyekkel mi, kutatók is tisztában vagyunk, hiszen mi találkozunk velük a leghamarább! De a személyes okulás egy bizonyos szint fölött önmagában nem elég, szükséges a részletes és szigorú szabályozás – amelynek minden fontos pontját korábbi balsikerű események indokolják. Ezért aki például nálunk szeretne dolgozni, akárcsak egy nyúlfarknyinak tűnő hétre is, annak tűz- és munkavédelmi oktatásban kell részesülnie, amit vizsga követ,

és ez alól még a nálunk dolgozó diákok sem kivételek! A veszélyek megismeréséhez honlapunkon jó előre megadunk minden segítséget, továbbá részletes leírások olvashatók a laboratóriumok megfelelő helyein is, de munkatársaink is sokkal jobban odafigyelnek az újoncokra. Talán ennek is köszönhető, hogy az elmúlt években egyetlen ilyen természetű baleset sem fordult elő! Ám lelkileg meglehetősen nehéz azonosulni a szigorú rendszabályokkal, ha az ember nem látja maga előtt a negatív példákat. Szükség van az elrettentésre! (Alighanem még a *Grimm* fivérek rémtörténeteinek is volt ilyen szándékosan elrettentő célja.) Véleményem szerint nagyon fontos a legfiatalabb korú kísérletezőket is ráébreszteni a veszélyekre, és erre mi lenne alkalmasabb, mint saját megélt tapasztalataink?! Az alábbiakban tehát az én történeteimből jön egy csokor, de biztos, hogy másoknak is akad, csak vissza kell rá emlékezni! Leginkább saját elektromos eseteimből fogok idézni, még gyermek- és ifjú koromból. Munkahelyi példát sajnos nem tudok hozni – ki tudja, tán végre benőtt a fejem lágya ☺

A legelső horror

Édesapámnak volt egy próbálámpája (220 V-os izzólámpa, hozzá csatlakozó vezetékekkel), bizonyos elektromos szereléseknél a fáziskeresőt helyettesítette

vele. Amolyan 4-5 éves fiúcskaként elbűvölve láttam, hogy a megfelelő helyekhez érintve világít. Nagyobb csoda volt ez, mint a villanykapcsoló! Persze nem volt szabad hozzányúlnom, apám ezt szigorúan megtiltotta. Na de nem volt mindig otthon, én pedig megfigyeltem, hogy hova is teszi a lámpáját... Első kísérletem tehát az volt, hogy ellenőrizsem a konnektorban a feszültséget. A lámpa nálam is nagyszerűen világított! Ezután, a csuda tudja hogy miért, az az elmebeteg (igen, az) ötletem támadt, hogy a talált bronz huzalokkal meghosszabbítom a próbálámpa rövidke drótjait, hogy vajon rajtuk keresztül is világít-e majd a lámpa. Ezt nemes egyszerűséggel úgy oldottam meg, hogy bal kezem hüvelyk- és mutatóujjával összefogtam az egyik vezetéket az egyik bronz huzallal, jobb kezem hüvelyk- és mutatóujjával meg összefogtam a másik vezetéket a másik bronz huzallal (kém), majd így bedugtam a konnektorba!... Az istenért, ki ne próbálja valaki! Inkább elárulom: a kísérlet sikerült, mert azt még világosan láttam, hogy a lámpa felvillant! De azon nyomban úgy megrázott *valaki* ☹, hogy mindent elejtettem, még az eszméletemet is elvesztettem egy időre. Arra ocsúdтам fel, hogy a néhai lámpa maradványai ott hevernek előttem a földön, a bronz huzalokkal együtt. Azt ugyan nem tudtam megállapítani, hogy ki rázott meg, mindenesetre a nyomokat eltüntettem. Később apám roppantul csodálkozott, hogy próbálámpája hová tűnt (engem szerencsére nem vett gyanúba), az újabb lámpájával pedig *nem* ismételt meg a kísérletet. Akkor még nyilván nem tudtam, hogy egy tudományos kísérletnél a reprodukálhatóságot is ellenőrizni kell ám ☹.

Elektrosokk-kezelés

Igazság szerint itt az érdem a nővéremé. (Nem emlékszem rá, hogy valaha is más elektromos tárgyú felfedezést tett volna, de ez alkalommal igen.) Egyszer csak azzal a mesével szaladt be az udvarról, hogy egy nagyon különleges felfedezést tett: ugyanis ha a nyelvért hozzáérinti az esőcsatornához, akkor nem lehet semmi mást látni, csak egy nagy vörös foltot! Kizárólag azt! Na ez olyan képtelenül hangzott, hogy már csak ki kellett próbálnom! Az öcsémrel felsorakoztunk az esőcsatornához egy-egy nyalintásra, és láss csodát – *igaza* volt! Különös élmény, az eszemnél voltam (fogjuk rá), fájdalmat nem éreztem, az egyensúlyomat sem veszítettem el, mindent hallottam, és ha kissé beszédhibásan is (a kinyújtott nyelvem miatt), de még beszélni is tudtam! Viszont látni csak a nagy vörös foltot láttam – mellette a Jupiter nagy vörös foltja nyugodtan elbújhatott. Az öcsém hasonlóan. Így hát most már csapatostul rohantunk apámhoz beszámolni a nagyszerű hírről! Aki miután meghallotta a történeteket, egyből leizzadni látszott, és rohant intézkedni. Ha *Egely György* hallott volna az esetről, alighanem kész lett volna előrukkolni egy jó kis gömbvilágos magyarázattal, de apám földhözragadtabb ember lévén, inkább a villanyvezeték és az eső áztatta

hátzető egy lehetséges nemkívánatos kapcsolatára gondolt – helyesen. Hogy mekkora áramot szenvedtünk el, azt nem tudom, valószínűleg azért nem akkórát, mint némely pszichiátrián volt szokás alkalmazni a 20-as, 30-as években...

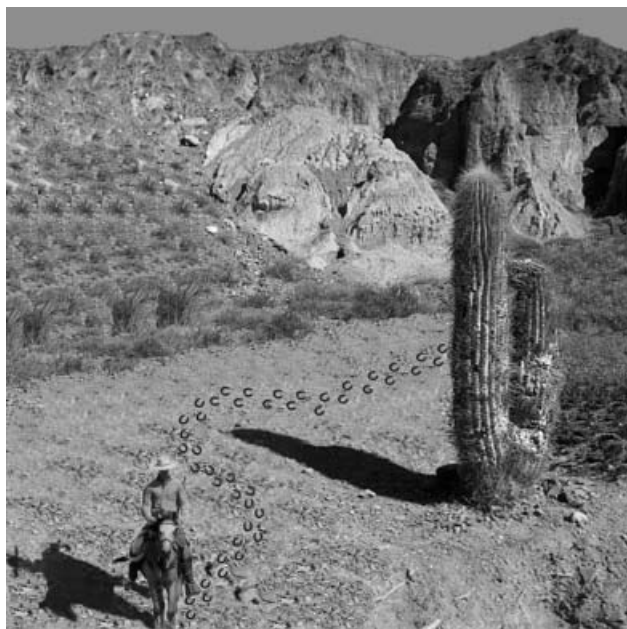
Azt az egyet máig sem tudom, hogy a nővérem miképp jutott erre a felfedezésre. Vajon hogyan támadhat valakinek az a különös ötlete, hogy megnyalja az esőcsatornát? (Hiába no, a tudományos ismeretszerzés útjai kifürkészhetetlenek...)

ReMekkElek

A próbálámpás kaland utáni években nem fordítottam hátat az elektromosságnak, de a 220 V helyett egy darabig megelégedtem az apám zseblámpájából kölcsönösört laposelemekkel. (Hogy mennyit szidta a Perion gyárat!) Akkoriban ment a tv-ben *Öveges József* sorozata, azokat a kísérleteket is igyekeztem elvégezni. Röpké pár év alatt fabrikáltam először is elektromágnezt, majd működőképes dudát, csengőt, telefont, villanymotort, detektoros rádiót stb. De eljött az idő, amikor komolyabb erőforrás után kellett néznem, már csak azért is, mert nagyon megtetszettek az elektromos hegesztőtrafók szikrái ☹. A trafókról is volt már bizonyos elképzelésem, a vasmag + tekercs témában meg kifejezetten otthon éreztem magam (8-9 évesen...). Szóval megkaparintottam egy nagy darab, kiszuperált relé vasmagját, és egy roncs transzformátor csévetestét jó sok dróttal, és ebből készítettem el a saját hegesztőtrafómat. Csupán 1 db tekercs volt rajta (minek feleslegesen bonyolítani a dolgokat), amolyan össze-vissza tekercseléssel, az átütési szilárdsága pedig gondosan a laposelemek igényéhez igazítva... Elképzeléseim szerint a tekercset majd egyszerűen sorba kötöttem volna (mit volna, kötöttem is!) az egyik hálózati vezetékkel.

Akkor még nem sokat tudtam arról, hogy akad itt minimum 2 nagyon fontos biztonságtechnikai szempont: 1. a szekunder tekercs legyen a primertől elkülönült és elszigetelt, és 2. a feszültsége (menetszáma) legyen nagyságrendileg kisebb a bejövő 220 V-nál (primer tekercsénél).

Elmondhatom, hogy engem csak hébe-hóba vágott meg a cucc, ellenben minden alkalommal levágta az automatát, vagy kiverte a biztosítékot. Olybá tűnt, hogy az én hegesztési igényeimhez valahogy nem elég erős ez a 220 V ☹! (Vajon mi történik, ha egy komolyabb távvezeték is akad a közelünkben ☹?) Mindenesetre akkor már felfogtam, hogy az elektromos rázásért valamiképp az én rossz „trafóm” a felelős, továbbá az is a baja, hogy rosszul gazdálkodik a 220 V-tal. Így hát nem erőltettem tovább a dolgot, hanem megpróbáltam utánaolvasni a trafóknak. Sikerült is, de nem mondhatnám hogy a tankönyvekben (viszont éljen a *Természettudományi Kislexikon!*), ugyanis az iskolában, másokhoz hasonlóan, csak 13-14 évesen találkoztam először az elektromossággal. (Mondhatni túl későn, már alig számított.)



Egyesek szerint az igazán veszélyes dolgokat legjobb elkerülni...

Amikor igazán megvágott az áram

Hamar eljutottam oda, hogy különféle (általam gyártott) trafókkal szikráztattam, nagy kapacitású kondikkal durrogtattam, immár átlátván a magasabb szempontokat, de aztán főleg erősítőket és tranzisztoros rádióvevőket készítettem. Életre keltettem néhány, az áruházból rendkívüli kedvezménnyel megvásárolt üzemképtelen rádiót, amiért is a falunkban hírem ment, így egyre gyakrabban hoztak hozzám javíttatni is hasonlókat. (Volt, hogy olyan „kis hibás” autórádiót is, amelynek belsejében, talán egy zárlat miatt, szisztematikusan szénné égett minden. Én, mint „szakember”, ingattam is a fejem rendesen!) Alapvetően már a tranzisztor korában cseperedtem fel, de azért valamennyire beletanultam az elektroncsövek világába is. Az elektroncsöves kapcsolásokban bizonyos dolgok másképp vannak, például gondosodni kell fűtőáramról is, meg több száz voltos anódfeszültségről, de összességében mégis esztétikusan egyszerűek voltak a tranzisztorosokhoz képest. A szóban forgó alkalommal édesanyám egyik volt munkatársnője (egy nyugdíjas néni) egy Néprádiót hozott javíttatni, amelyet előzőleg alaposan kiporszívózott ☺. Akkor már egy pillanatra sem hittem, hogy a pornak valami kulcsfontosságú szerepe lehetne a működésében – inkább valamelyik huzal elszakadására tippeltem (nyert). A hibakeresés és javítás tehát nem tartott soká, legfeljebb ha fél órát. De miután összeszereltem a rádiót, feltűnt, hogy egy csavart kifelejtettem. Pechemre, nem a hátlap csavarja volt, hanem a rádió belsejében volt hivatott rögzíteni egy kondit. Gyarló az ember, különösen, ha már profinak hiszi magát. Nem volt kedvem újra szétszedni az egészet, gondoltam így is vissza tudom csavarni, hátulról óvatosan benyúlva... (A kezűgyességemre sosem volt panasz.) Továbbá a készülék kikapcsolását is feleslegesnek éreztem, hiszen az

adott kontaktus úgysem volt különösebb feszültség alatt. Na most a szitu a következő: bal kézzel „könyékig” bent vagyok a bekapcsolt rádió belsejében, ahol a mutató és a középső ujjammal megpróbálom vakon a helyére bizgatni a csavart, hogy közben ne is érjek hozzá valami nagyobb feszültségű ponthoz, esetleg egy forró elektroncsőhöz, de ha mégis, akkor sem szabad ám hirtelen mozdulatot tenni... Hát mit mondjak, nem sikerült! Életemben akkorát még nem vágott rajtam az áram, mint akkor! Az anódfeszültség kondijának minden energiája utat talált az egyik ujjamon át – még egy kis lyukat is égetett belé! Egész hátralevő nap látszólag a zsebemben hordtam a bal kezem. (Annyira elzsibbadt, hogy megemelni sem tudtam...)

Katonadolog

A következő egyetemi előfelvettként esett meg néhányunkkal, akik a katonaságnál ugyanazon az orosz gyártmányú R140-es rádióállomáson teljesítettünk szolgálatot. A rádióállomás lelke egy tehergépkocsra szerelt, 1,5 kW maximális kimenő teljesítményű (és 4-5 kW hőt kisugárzó) rövidhullámú hibrid (elektroncsövek plusz félvezetők) adóvevő berendezés volt. A hadgyakorlaton egy HAD16 nevű 16 kW-os aggregátor gondoskodott az ellátásáról. Nos, az antennarendszer kitelepítésével végeztünk úgy 4-5 óra alatt, még éppen időben, mert már sötétedett. Kezdődhetett (volna) a munka intelligensebb része, vagyis az adóvevő számos rezgőköri kondijának, induktivitásának és potméterének behangolása a műszerek visszajelzései és a megkívánt átviteli frekvenciák függvényében. Így hát az állomás pk (parancsnok) utasítást adott a készülék bekapcsolására. Ámde ebben a pillanatban a belső életvédelmi egység leváltott. Valami nem tetszett neki. (De mi?) Visszakapcsoltuk hát, majd újra megpróbáltuk „beizzítani” az adóvevőt. Ugyanaz. Ekkor az egyik honvédtársam parancsot kapott, hogy tartsa nyomva a belső életvédelmi gombot, hogy az ne tudjon leváltani... (Hajaj!) Újabb indítási kísérlet, mire fel leváltott a külső életvédelmi egység. (Ezek az oroszok... mindenre gondoltak!) Újabb honvéd, újabb parancs, ő meg tartsa nyomva a külső életvédelmi egység gombját! Következő indítási kísérlet – erre levált az aggregátor automatája! (Azért ez már valami, ugyanis $3 \times 380 \text{ V} \times 40 \text{ A}$ csúcsterhelésre volt méretezve...) Ekkor jött az én parancsom: tartsam nyomva az aggregátor reléjét, hogy az se válthasson le! A következő indításnál ámulatba ejtő dolog történt az orrom előtt: mintha csak egy óriás a vasmarkába fogta volna, a teljes sebességgel pörgő, és minimum fél tonnás aggregátor 2 másodperc alatt úgy lefulladt, hogy minden műszere végkitérésbe ment, az aggregátor maga pedig fél kerekére emelkedett!

Így hát újra kellett indítani az aggregátort is (nem lett baja). Ekkor időszerűnek láttuk megtekinteni, hogy voltaképpen mi a fene is történhet az adóvevő nagyfeszültségű tápegységének belsejében ☺. Ezért az állomás pk kicsavart egy biztosítékot, valami apróbbat, valame-

lyik visszajelző áramkörhöz tartozót. Újabb indítási kísérlet: az aggregátor reléje levált (azt már akkor békén hagytuk, nehogy újra kelljen majd indítani azt is). De ami a lényeg: a körülbelül kockacukornyi lyukon át olyan fény árasztotta el a gépkocsi belsejét, mintha fényes nappal lenne! Ááááá, szóval valami zárlat! (Ugye milyen hamar kitaláltuk ☺?) Kivettük a nagyfesz tápegység egyenirányító paneljét (körülbelül 40 cm minden oldala), rajta 36 db sorba kötött vaskos dióda, mátrix elrendezésben. (Khm, ez egy másik „Mátrix”!) A bakelit alaplemez tényleg elég szenesnek tűnt, így hát nekiálltunk az elszenesedett részt levakargatni. Egy röpke óra alatt meg is voltunk vele. Visszatettük, aztán jött az utolsó próba: És működött! Nagyot nőtt a szememben az orosz haditechnika, már ami a szinte elpusztíthatatlan méretezését illeti. De ugyanez nem vonatkozik az emberekre, mi nagyon is könnyen meghalhattunk volna! – Igaz, legalább parancsra.

A mihez tartás végett

Az idézett esetek mindegyike olyan, hogy simán agyonüthetett volna az áram! Persze az ember meg is úszhatja, mert nagyon sok körülményen múlik, hogy milyen lesz az áramütés végső kimenetele. Számít a feszültség, az áramerősség, az áram frekvenciája (ha váltó), időtartama, teljesítménye, az érintkezési helyek, az áram útvonala testünkben, de még a fizikai és lelki állapotunk is! A legveszélyesebbek azok az esetek, amikor az elektromos áram útja a szívünket keresztezi, ugyanis ilyenkor fennáll a lehetőség, hogy a szív azonnal megáll. De ha még ezt el is kerüljük, akkor is szenvedhetünk izomgörcsöt, bénulást, súlyos égést, az elektrolízis révén fejlődő gázoktól embóliát stb. Vannak alattomos kémiai hatások is, amelyek esetleg csak 1-2 nap múlva okoznák a halálunkat, amikor már szinte el is felejtkeztünk az egésztől! Szóval a témával nagyon fontos volna még gyerekkorunkban megismerkedni. Hallom, mostanság már munkavédelemből is lehet érettségizni. Ennek ellenére, legalábbis a magyar nyelvű Internet egyáltalán nem hemzseg a témába vágó érdekes és részletes művektől. Hosszas keresgélés után a PilisCentrum.hu honlapján találtam a leginformatívabb és olvasmányos leírást [4], *Áramütés* címmel, de sajnos a szerző megjelölése nélkül. Egy másik írást is nagyon ajánlok a figyelmükbe *Ifj. Zátonyi Sándortól* [5], aki

érdekes kísérletekkel együtt ír az elektromosság veszélyeiről. Az ilyen segítségek nagyon hasznosak lehetnek abban, hogy a kísérletezni vágyó fiatal elkerülje a buktatók zömét, és természettudományos fejlődése magasabb sebességre kapcsoljon. Hogy némelyikük mennyire szerteágazó problémahalmazon is át tudja így magát verekedni, arra remek példa *Schronk Edina*, aki kacsaringós munkájáról nemrég pont itt, a *Fizikai Szemle*-ben számolt be [6]. Edinával az MFA egyik nyílt napján találkoztam, ahol bekukucskálhattam laborjainkba. Mások előtt is nyitva áll ez a lehetőség, ahogyan az MFA Nyári Iskola nevű középiskolás tudományos kutatótábor is, amelyre ezúttal is nagy szeretettel várjuk a kutatni vágyó diákokat, az általunk is művelt tudományos témákban [7]!

Epilógus

Nem állíthatom, hogy az utóbbi években már egyáltalán nem rázott meg az áram, de csak kisebb szurkapiszkák értek. Talán megtanultam tisztelni az elektromosságot, és végérvényesen tudomásul vettem, hogy bizonyos rendszabályokat muszáj betartanom, mert különben a balszerencsém kifoghat rajtam. Mindenesetre azt is gondolom, hogy az embernek szüksége van valamennyi személyes tapasztalásra. De ezt ne tekintse senki se bátorításnak, nehogy utánozza az én hülyeségeimet, legalább azokat ne, nem adok rá licenszet (ha már, akkor legyen kreatív ☺...)! Na és ha valaki az ismeretlennel kezd, mint a kísérleti természetkutatók általában, legyen különösen elővigyázatos!

Irodalom

1. Ferenc Kata: Nyári iskola az MTA MFA-ban: Hogyan lesz a tojásból műcsont? *Élet és Tudomány* LXV/37 (2010) 1174–1176.
2. MOL – Dialógus Konferencia – 2011. február 21., Budapest, háttéranyag link: <http://www.mol.hu/repository/644531.pdf>
3. Rocard-jelentés – első kézből (Szilágyi Zsuzsa interjúja Csermely Péterrel, a természettudományos oktatás megújításával foglalkozó EU-szakértői csoport magyar tagjával). *Fizikai Szemle* 57/9–10 (2007) 340.
4. www.piliscentrum.hu: Áramütés, feltöltve: 2009.03.24. 18:34, http://www.piliscentrum.hu/?lap=/hirek_irasok/cikk_sablon.php&cimfajl=aramutes
5. Ifj. Zátonyi Sándor: *Elektromos áram az emberben*. www.fizkapu.hu, 2004.04.27., <http://www.fizkapu.hu/fiztan/fiztan03.html>
6. Schronk Edina: Aladdina Csodalámpája. *Fizikai Szemle* 61/1 (2011) 26.
7. MFA Nyári Iskola: <http://alag3.mfa.kfki.hu/mfa/nyariiskola/>

A PÉCSI KÖZÉPISKOLÁKNAK AJÁNDÉKOZOTT DIGITÁLIS GEIGER–MÜLLER-SZÁMLÁLÓ HASZNÁLATÁRÓL

A fémdobozba épített készülék alkalmas radioaktív sugárzás érzékelésére, mérésére. Sugárzó anyag hiányában működtetve csak a pillanatnyi háttérsugárzás mérő (beütés/perc). Sugárzó anyagként – ha más nincs

– alkalmas az úgynevezett gázizzó-harisnya, amelyet gázlámpák világítófejében használnak. (Pár évvel ez előtt még technikai eszközöket árusító boltban beszerezhető volt.)



A Geiger-Müller-számláló háttérsugárzás mérése közben.

A készülékkel vizsgálhatunk kirándulások alkalmával gyűjtött különböző kőveket, tartalmaznak-e radioaktív anyagot. Az azóta megszüntetett Kővágószőlős-Bakonya uránércbánya környékén kirándulva célszerű néhány követ felszedni, és esetleges sugárzását megvizsgálni.

A készülék használata

A villásdugóval végződő vezetékét a 220 V-os hálózathoz csatlakoztatjuk. Ekkor a háromjegyű kijelzőn valamilyen szám jelenik meg. Az előlapon található nullázó gombot megnyomva mindhárom kijelző nullára áll. (Ha tévedésből a „mérés indítás” gombot nyomtuk meg, úgy az előlapon lévő kis piros LED világítani kezd, és a kijelző számai a bekapcsoláskor mutatott értékről továbbszámolnak, hibás mérés történik. Ekkor két percet célszerű várni, mert a készülék időzítője még bekapcsolt állapotban van.)

Ha a megfelelő nullázó gombot nyomtuk meg, mindhárom kijelző nullát mutat, és a kijelzőn nem változik az érték. Ezután megnyomjuk a mérésindítási gombot – a kis piros LED világít, és így is marad. Ekkor beindul a számlálás. Ha a számlálócső mellett nincs semmiféle vizsgálati anyag, akkor a helyi háttérsugárzást mérjük. A készülék 1 perc múlva kikapcsol, a LED kialszik. 1 perc várakozási idő után ismét mérhetünk. A kapott eredmény természetesen nem mindig azonos, a háttérsugárzás rövid időn belül is változhat.

Vizsgálati anyagot soha ne tegyünk a számlálócsőre, a számlálócső közepétől körülbelül 1 cm távolságra helyezzük el. Ügyeljünk arra is, hogy a számlálócsövet ne érje ütés (például kő melléhelyezésénél).

Ha a napi háttérsugárzást mérjük, célszerű erről feljegyzést vezetni. A mérést célszerű mindig ugyanazon a helyen, ugyanazon időben végezni. A kapott értékek $\pm 40\%$ eltérést is mutathatnak. Mérés után a készüléket a hálózatról lekapcsoljuk.

Saját észrevétel

A háttérsugárzást naponta 6 óra 30 perckor 5 év óta mérem, a kapott értéket feljegyzem. Hosszabb megfigyelés után észrevettem, ha a mért érték a többnapos (hetes-kéthetes) átlagnál 1-3 napig 20–25%-kal kisebb, a rádió vagy a tv 1-3 nap múlva a Föld valamely pontján történt nagyobb földrengésről számol be (3,5 vagy nagyobb magnitúdóval). A mért értékek semmiféle támpontot nem adnak arra, hogy hol lesz a földrengés. Az $M < 3$ amplitúdójú rengésnél a mutatott érték nem volt kevesebb 20%-kal az átlagnál. Ezek csak saját észrevételek, ismereteim szerint nincs bizonyított összefüggés.

Cseresnyés József

ny. villamosmérnök, fizikatanár, Pécs

TERMÉSZETTUDOMÁNY TANÍTÁSA

KORSZERŰEN ÉS VONZÓAN

– szaktanári konferencia a természettudományok tanításáról

2011. augusztus 23. és 25. között az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Lágymányosi Északi Tömbjében az *ELTE Természettudományi Oktatásmódszertani Centruma* és az *INFO Park Alapítvány* konferenciát rendez a fenti címmel, amellyel a természettudományos tantárgyak – *biológia, fizika, kémia és matematika* tanárait, valamint a *földtudományi és környezettudományi* ismereteket a természettudományi tárgyakba beépítő kollégákat hívja az országból és a határokon túlról közös szakmai találkozóra.

A rendezvény fővédnökei: *Pálinkás József*, az MTA elnöke és *Mezey Barna*, az ELTE rektora.

A konferencia honlapja: <http://termtudtan.extra.hu>.

A rendezvényen arról szeretnénk gondolatokat cserélni, hogy miként lehet a világszerte népszerűségi problémákkal küzdő reál tantárgyakat vonzóan, érdekesen és egyúttal színvonalasan tanítani az iskolában.

A három napos konferenciának közös, plenáris programok adnak keretet, de az idő jelentős részét a szakterületi szekciók párhuzamosan futó programjai töltik ki.

A közös program részeként

– Szeretnénk meghallgatni az oktatási kormányzat terveit, elképzeléseit a természettudományos tárgyak tanításával kapcsolatban.

– Fontosnak tartjuk, hogy a határon túli régiókban a magyar nyelvű természettudományi oktatás, a magyar nyelvű szaktanárképzés és a tehetséggondozás helyzetét megismerjük és összehasonlíthassuk az anyaországi feladatokkal és lehetőségekkel.

A fizika szaktárgyi program részeként

– Elsősorban az *energia* tanításának időszerű és nehéz kérdéskörét szeretnénk körüljárni. Az energia fogalmának sokrétű és igényes kialakítása fizikatanításunk egyik legfontosabb feladata. Az energiának valamennyi természettudományban fontos szerepe van, csakúgy mint a technikában, a műszaki gyakorlatban. A fizika tanítása során a társtudományokra és a műszaki gyakorlatra is figyelemmel kell lennünk. Fontos feladatunk az is, hogy a diákok tartalmi különbséget tudjanak tenni az energia tudományos fogalma és a mindennapi élet ettől gyakran eltérő szóhasználatá között. Azt szeretnénk, ha a tudományterület egy-két prominens előadóján túl a résztvevők rövid, szóbeli kiselőadások és poszter-előadások formájában beszámolnának saját eredményeikről, törekvéseikről, arról, hogy ők miként igyekeznek az energia tanításán keresztül érdekessé és vonzóvá tenni saját iskolájukban a fizikát. (Természetesen korlátozott arányban elfogadunk más témájú, közérdeklődésre számot tartó előadási témákat is.) A szaktárgyi

programok szervezését a szakterületi programbizottságok végzik, az aktuális információk a konferencia honlapján követhetők.

A konferencia plenáris, szekció- és poszter-előadásainak írott anyagát referált kiadványban jelentetjük meg.

A konferencia-részvétel ingyenes, a szállást és étkezést nem szervezünk. (A helyszínen a büfé költségeire hozzájárulást szedünk. A határon túli és vidéki érdeklődők számára – amennyiben június 10-ig jelentkeznek és igénylik – önköltséges kollégiumi szálláshely lefoglalásában segíteni tudunk.)

Regisztrálás

Jelentkezni a <http://termtudtan.extra.hu> konferencia-honlapról elérhető jelentkezési lap kitöltésével elektronikus formában lehet.

Azok számára, akik szálláshelyet szeretnének foglalni, az elektronikus jelentkezési határidő *2011. június 10.*

Azok, akik nem igényelnek szállást, legkésőbb *2011. június 30-ig* regisztrálhatnak.

A bemutatásra szánt előadások, poszterek címét és rövid tartalmi kivonatát a jelentkezési lapon kérjük megadni, hogy a programbizottság döntése alapján kialakulhasson a végleges program.

Örömlénk, ha az anyaországból és a határon túli régiókból minél több lelkes, a szaktárgyáért tenni akaró tanár venne részt a rendezvényen.

A fizika szakmai program szervezői

FIZIKATANÍTÁS TARTALMASAN ÉS ÉRDEKESEN

– megjelent a 2009. augusztusi konferencia anyaga

Jelezzük az érdeklődőknek, hogy a *magyarul tanító fizikatanárok 2009 augusztusában Budapesten megrendezett nemzetközi konferenciájának* előadásai pdf formátumban letölthetők az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizika Doktori Iskola Fizika tanítása programjának <http://fiztan.phd.elte.hu> honlapjáról.

Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen című konferenciakötet korlátozott számban nyomtatott formában is rendelkezésére áll. Előzetes egyeztetés után (juhy@ludens.elte.hu, [tel@general.elte.hu](tel:+36146513111)) az ELTE Anyagfizikai Tanszékén személyesen átvehető.

Jubász András, Tél Tamás

KÖNYVESPOLC

Barabási Albert-László: BEHÁLÓZVA

Helikon Kiadó, Budapest 2011, 320 oldal

Barabási Albert László könyve 2002-ben jelent meg először, magyarul 2003-ban. Azóta igen sok nyelven kiadták – különösen kifejező borítót terveztek hozzá Izraelben és Koreában. Nem csupán kiadták, de több országban felkerült a bestsellerlistára.

A széleskörű elismertség indokolt, mert Barabásinak sikerült egy nem habkönnyű tárgykört érdekfeszítővé tenni. A 15 fejezet mindegyike (ebben a mostani, harmadik kiadásban van egy 16., egy utolsó utáni fejezet is) 8–10 szakaszra bomlik, ami azt jelenti,

hogy egy-egy gondolatkör kifejtése nagyjából 2 oldalon valósul meg. Ilyen mértékű koncentrációra pedig egy átlagosan fáradt olvasó is képes.

A szerkezet tehát teherbíró, a tartalmat a láncszemeknek mondott fejezetek hordozzák. A láncszemek kapcsolódása természetesen példás, hiszen erről, a kapcsolódásról szól a könyv. Ezután már csak a kétoldalas szakaszokat kell érdekes tartalommal megtölteni, és biztos a siker. Barabásinak ez is megy – még ha valójában nem így készült a könyv – az egyes szakaszok érdekfeszítők, jól komponáltak.

Az elsőből megtudjuk, hogyan bénította meg egy 15 éves hacker a Yahoo-t az internetes hálózat felhasználásával. A következő azt a lehetőséget taglalja, hogy Pál az általa ismert kapcsolatrendszer segítségével elindított egy alig ismert szektát a világvallássá válás útján.

A második láncszem (fejezet) azzal a történettel kezdődik, hogy *Euler* a köznigsbergi hidak egyszeri bejárásának feladatához gráfokat rendelt. A következő szakaszokban *Erdős Pál* és *Rényi Alfréd* együttműködését követhetjük a gráfelmélet véletlen hálózatokra alkalmazása során.

És jön a *Hatlépésnyi távolság* című harmadik láncszem, amely 1929-ben kezdődik egy *Láncszemek* című írással, amely szerint a szerző legfeljebb öt más egyénen keresztül kapcsolatot tud létesíteni a Föld másfél milliárd lakójának bármelyikével. A szerző *Karinty Frigyes*, akinek jól megalapozott gondolkísérletét majd 40 évvel később igazolta vizsgálataival a kísérleti pszichológia neves professzora, akinek méréseiből 5,5 adódott két tetszőleges amerikai közötti „távolság”-ra.

A következő láncszemek különféle csoportképződési jellemzőkkel foglalkoznak. Ilyen jellemző az Erdős-szám, ami azt mutatja meg, mennyire közeli az illető publikációs tevékenysége Erdőshöz; például akinek olyan szerzővel van közös publikációja aki írt Erdőssel közös cikket, annak az Erdős száma 2. A matematikusok, sőt a sok matematikát alkalmazó egyéb területek kutatói között is tanulságos az Erdős-számok eloszlása.

A mindennapi gyakorlatban az Erdős-számnál ismertebb csoportjellemző a 80/20 szabály, amely szerint például a bűntettek 80%-át a bűnözők 20%-a követi el; a szemek 80%-a borsóhüvelyek 20%-ban található. Tendenciát kijelölő szabályról van szó, így ide sorolható, hogy a tudományos közleményekre történő hivatkozások 80%-át a szerzők 38%-a kapja. Az empirikus szabályok és a kapcsolatok eloszlásának közvetlen elemzéséből derült ki, hogy a hálózatok többsége nem véletlen, hanem skálafüggetlen, azaz a kapcsolódási pontok száma a kapcsolatok számának függvényében nem haranggörbe, hanem hatványfüggvény lefutású.

A továbbiakban a hálózatok struktúrájának, növekedésének vizsgálatára a legkülönbözőbb területeken

kerül sor. A részecskék megkülönböztethetlenségének figyelembe vétele megváltoztatta a gázatomok vagy fotonok eloszlásáról kialakult képet és elvezetett a Bose–Einstein-kondenzátum lehetőségének kimondásához. A kísérleti ellenőrzésre ugyan még hetven évig várni kellett, de a szupravezetésben, a kozmológiában addig is fontos felismerésekre vezetett.

Barabási Albert-László fizikus diplomával rendelkezik, ezért megkülönböztetett gondossággal mutat rá a fizikai alkalmazásokra. Hamarosan eljut a fizikusok információs rendszereként indult, ám mindenki által használatba vett világhálózathoz. „A világháló egy skálafüggetlen hálózat, amelyet középpontok és sok kapcsolattal rendelkező csomópontok uralnak.” (181.

oldal.) Ezt a születésétől – sőt, tervezésétől – nyomon követhető rendszert számos mérésre és kísérletre használták a szerző és munkatársai. „A világháló digitális természete és hatalmas mérete miatt egy olyan modellrendszert ajánl számunkra, amelyben minden részlet felfedezhető. Soha eddig nem jutottunk ilyen közel egyetlen hálózathoz sem. Ez továbbra is az ihlet és az ötletek forrása marad majd bárki számára, aki hálószerű világegyetemünk tulajdonságait akarja megérteni.” (195. oldal.)

A könyv még folytatódik. A 13. láncszem az élet térképét mutatja be. Azokat a csalódásokat, amelyek egy-egy gén és valamilyen betegség, betegség-

csoport összekapcsolásának kudarcát követték. Kiderült, hogy a legfontosabb információ a gének közötti kapcsolatokban rejlik, amelynek megértéséhez a hálózat megismerésén keresztül vezet az út. „Ha felteszszük, hogy minden gén egymástól függetlenül ki- vagy bekapcsolható, akkor egy N génből álló sejt 2^N különböző állapotban lehet.” (215. oldal.) Megalapozottan állítja a szerző, hogy századunk kutatási programjainak várhatóan a komplexitás lesz leggyakrabban a tárgya.

A hálózat szerepe a globalizált gazdaságban annyira magától értetődő, hogy csak a konkrét elemzések tehetik érdekessé ezt a fejezetet. „Az igazgatótanácsi hálózat attól a 21 százaléknyi vezetőtől lesz kis világ, akik egynél több igazgatótanácsban tagok, hiszen ők azok, akik ezt a komplex hálózatot összetartják.” (222. oldal.) Ezek közül is kiemelkedik egy-egy kulcsfigura, konkrétan egy olyan, aki 10 igazgatótanács tagja, és a legtöbb igazgatótanács tagjaitól 3 vagy kevesebb kézfogás választja el. Meglepő és hűsbavágó, hogy a közgazdasági elméletek és modellek milyen kevés figyelmet szentelnek a hálózatok szerepének.

Az utolsó két rövid fejezet a mondanivaló időbeli elhelyezését rögzíti. A 2002-ben megjelent első kiadásnak foglalkoznia kellett 2001. szeptember 11-vel, azaz a terrorista hálózatok elleni küzdelem stratégiájával. A befejező – utolsó utáni – láncszem pedig a leg-



főbb következtetést, mint a 21. század feladatát fogalmazza meg: „Visszatekintve arra a sebességre, ahogy a skálafüggetlen hálózatok felfedezése után kibogoztuk a körülöttünk lévő hálózatokat, egy dolog biztos: mielőtt rábukkantunk a komplexitás helyes elképzelésére, azután már csak rövid idő kell ahhoz, hogy termőre fordítsuk. Hogy mikor fog ez megtörténni, egyike azoknak a titkoknak, ami sokunkat mozgásban tart.” (256. oldal.)

Az utolsó oldalt 43 oldalnyi jegyzet követi, a szövegben felmerülő személyek, fogalmak és helyzetek körülbemutató bemutatására. Végül egy 12 oldalas név- és tárgymutató könnyíti a könyv használatát.

Barabási könyve nemcsak siker volt, de a hálózatok új tudományát elfogadtató alapkönyv lett. Hamarosan ilyen bejegyzéseket lehetett olvasni az *Index* fórumán: „Igazán olvasmányos könyv, kis sztorikkal, földi halandó számára tökéletesen érthető nyelvezettel. Persze nem lehet kapni sehol.”

A nyilvánvaló igény kielégítésére azután 2008-ban megszületett a Helikon gondozásában a második, majd 2011-ben a harmadik kiadás. Áprilisban a szerző a Mindentudás Egyetemén tartott előadást az emberi viselkedés kiszámíthatóságáról. Nem volt nehéz az előadást a komplexitás program részeként értelmezni.

Füstöss László

Barabási Albert-László: VILLANÁSOK – a jövő kiszámítható

Nyitott Könyvműhely, Budapest, 2010. 335 o.

A fizikus *Barabási Albert-László* könyvében a tudományok egy most megszülető ágát, a *humán dinamikát* mutatja be, és utal arra, hogy erről kiderülhet, „...hogy éppoly jelentős, mint a huszadik század elejének fizikája, vagy a genetika napjainkban lezajló forradalma”.

De miről is van szó valójában? A kutatások során nyilvánvalóvá vált, „...hogy legtöbb tevékenységünket olyan törvények, mintázatok és mechanizmusok vezérlik, amelyek nagyon hasonlatosak a természettudomány törvényeihez”. Miből derült ki ez? Hatalmas adatmennyiséget megvizsgálva e-posta küldési szokásainktól a mobiltelefon-használati gyakorlatunkon, a bankjegyek forgalmán, továbbá az albatroszok repülési pályájának jellegzetességein és a sejtek aktivitásának megfigyelésén át a betegségek elterjedéséig meg tudták állapítani a következőket: „Akármilyen tevékenységet vizsgálunk, ugyanazzal a *villanásszerű*¹ mintázattal találkoztunk. A nyugalom hosszú időszakai változnak rövid, intenzív aktivitással, mint amikor Beethoven valamelyik remekművében a hegedűk behízelgő hangját hirtelen heves dobpergés szakítja meg. ... Az élet megnyilvánulási formáiban semmi sem sima és véletlenszerű, sejtjeinkben milliszekundumoktól órákig, cselekvéseinkben óráktól hetekig, betegségeinkben hetektől évekig, az evolúciós folyamatokban évezredektől évmilliókig mindenféle időhálón a villanások dominálnak. A villanások az élet csodájának elválaszthatatlan részét képezik, jellegzetes jegyei az alkalmazkodásért és a fennmaradásért folytatott küzdelemnek.” Például e-posta küldési gyakorlatunkban az egyes küldemények nem véletlenszerűen oszlanak el az időben, hanem vannak „csomósodási pontjaik” (villanások), ráadásul ezek időbeli jelentkezése sem a véletlen műve.

Arról van tehát szó, hogy „...egy kialakulófélben lévő új tudomány méri meg minden cselekvésünket,

és ezzel arra kényszerít, hogy a szabad akarattól a magánszféráig mindent újragondoljunk, amit eddig természetesnek vettünk. ... ennek az új tudománynak az egyik legfontosabb felfedezése a következő: ha az egész életünket számok, képletek és algoritmusok segítségével fejezzük ki, kiderül, hogy valójában sokkal jobban hasonlítunk egymásra, mintsem gondoltunk.” Mindebből viszont következik, hogy a számítógépeknek, az informatikának alapvető szerepe van ezen új tudományág megszületésében.

Tegyük most fel azt a kérdést, amit a könyv alcíme jelez, hogy végülis kiszámítható-e a jövő, és ha igen mennyiben. „Számos ... eseményt – a napfogyatkozástól az árvizekig – egykor az istenek és szellemek titokzatos beavatkozásának tulajdonítottak. Mára azonban már kiszámítható jelenségek, és ebből az is kiderül, hogy a véletlenek mögött gyakorta még feltáratlan törvényszerűségek lapulnak.” Az emberekre, az emberek viselkedésére ezért ma azt mondhatjuk: „Talán nem vagyunk annyira szabályszerűek, mint a bolygók, de számos napi tevékenységünk ismétlődő jellegű, ezért jól előre jelezhető. Tehát amíg társadalmi szinten az előrejelzések a legjobb esetben is ködösek maradnak, az egyén szintjén egyre kézenfekvőbbek.”

Ettől viszont „ne keseredjünk el”. Mikor *Richardson* 1913-ban hozzákezdett az időjárás tudományos előrejelzésének kidolgozásához, az általános felfogás az volt, hogy az időjárás alakulását a véletlen játéka határozza meg. Richardson viszont helyesen ismerte fel az időjárást alakító tényezőket, de akkor – sajnos – mégsem ért el gyakorlatilag használható eredményt. Ma a meteorológusok – az általa lefektetett alapokon – háromnapos előrejelzéseket tekintve 95%-os pontossággal tudják megadni a várható időjárást. Ennek lényegében két oka van: a kiinduló adatok részletes ismerete (radar- és műholdas térképek, nagyszámú felszíni és magaslégtéri pontos, friss mérési adatok még az óceánok térségéből is stb.), valamint a gyors számítógépek.

¹ Kiemelés tőlem, B.D. Ez magyarázza különben a könyv címét.

Vajon nem arról van-e szó a történelmi események vonatkozásában is, „...hogya a jövő előrejelzésének képességében pusztán az adatok pontossága és a számítógépek sebessége korlátozhat bennünket?”

Bizonyára nem véletlen az sem, hogy Richardson később részletesen foglalkozott a háború törvényszerűségeinek kiderítésével is. Bár a háborúk előrejelzése nem sikerült neki, de ugyanakkor valóban figyelemreméltó, matematikailag kifejezhető törvényszerűségeket állapított meg rájuk vonatkozóan. Nem gondolhatunk-e arra, hogy nem lehetetlen, hogy a megfelelő adatok birtokában „...a tudomány és technika összefog, hogy felfedje minden idők legnagyobb rejtélyét: akár az egyéni, akár a társadalmi értelemben vett jövőt”. Úgy tűnik tehát, hogy útban vagyunk a pozitivisták álmának megvalósulása felé, amikor a társadalomtudományokat is a természettudomány módszereivel lehet megközelíteni, problémáikat megoldani. Nem tagadhatjuk azonban, hogy: „A háborúk és felkelések előrelátásának képessége ... még ma is ugyanolyan kétséges, mint Lewis Richardson számára volt az 1940-es években.”

Az eddigiekben még nem szoltunk arról, hogy a könyv *mintegy fele* – összefonódva a fentiekkel – a *Dózsa György* által vezetett 1514-es parasztlázadás történetének izgalmas, érdekes leírása, és tulajdonképpen illusztrációval szolgál egy történelemben bekövetkezett „villanásra”.

A szerzőről is szólni kell végül. Barabási Albert-László Székelyföldön született és ma neves amerikai

egyetemen tanít. Személye és tevékenysége nem ismeretlen a magyar fizikusok közössége előtt, hiszen a fizikusi oklevelet Budapesten szerezte meg, és itt kezdte pályáját, majd – már Amerikában is – több magyar kutatóval dolgozott együtt, ma pedig a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja. Könyve tele van magyar vonatkozásokkal, túlmenően azon, hogy a történelmi példa – az 1514-es parasztlázadás – a magyar történelem része. Számos rajtot is találunk a könyvben – ezek között szerepelnek például a mai budai vár részletei is. Ezek *Részegh Botond* grafikusművész munkái.



A könyvet letéve elgondolkozik az ember arról, hogy mi is a fizika tárgya. Nem is olyan régen (legalább is e sorok írója akkoriban ezt tanulta az iskolában) az anyagon „nem mélyreható változásokkal járó jelenségeket” tartották a fizika tárgykörébe tartozónak. A „mélyreható változások vizsgálatát” a kémia feladatának tekintették. Azután hamarosan kiderült, hogy a *legmélyrehatóbb* változásokkal, az elemi részecskékkel és átalakulásaikkal a fizika foglalkozik. A kémia jelenségeinek mélyebb magyarázata is

csak a fizikai ismereteink bővülésével sikerült, nem is beszélve arról, hogy a genetika születésénél is fizikusok bábáskodtak. Most meg kiderül, hogy a humán dinamika alapvetésénél is fizikusokat találunk. Talán igaza van annak a neves kutatónak, aki a fizika tárgykörét így definiálta: *a fizika az, amivel a fizikusok foglalkoznak*.

Berényi Dénes

HÍREK – ESEMÉNYEK

»ÚJ VILÁG TÁRUL FEL, OLYAN VILÁG, AMELYET AZ EDDIGI ESZKÖZÖKKEL NEM LÁTTUNK«

Világszínvonalú berendezés az ELTE Természettudományi Karán

Az „Európai Léptékkal a Tudásért, ELTE” kutatóegyetemi projektnek köszönhetően Magyarország egyik legmodernebb, nanokutatásokkal foglalkozó centruma jött létre az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán. *Havancsák Károllyal*, az Anyagfizikai Tanszék egyetemi docensével és *Szabó Csabával*, a Kőzetan-Geokémiai Tanszék egyetemi

docensével egy visegrádi konferencia apropóján beszélgettünk a SEM/FIB elektronmikroszkópról és az egyetemen folyó tudományos munkáról.

– *Hagyomány, hogy minden januárban konferenciát szerveznek. Miben különbözött ez az alkalom az eddigiektől?*

Havancsák Károly: A mostani konferencia korábban tanszéki téli iskola volt, ahol mindenki a saját tudományos témájáról beszélt. Ebben az évben az

További információ: <http://kp.elte.hu>, <http://submicro.elte.hu>



A Szerkezetkutató Centrum SEM/FIB laborja

összejövetelet kibővítettük és tematikussá tettük. A konferencia kimondottan a pásztázó elektronmikroszkóphoz (SEM/FIB) kötődő témákkal foglalkozott, amely az „Európai Léptékkal a Tudásért, ELTE” projektjén belül az *Anyagtudomány* alprojektjéhez kötődik. Az előadások egy részét a mikroszkópot működtetők tartották, illetve olyan prezentációkat is hallottunk, amelyek a mikroszkóppal elért első eredményekről és a jövő terveiről számoltak be.

– *Milyen tapasztalatokat szereztek a konferencián?*

Szabó Csaba: Nem emlékszem, hogy lett volna arra példa akár itthon, akár az egyetemen, hogy a földtudomány, a fizika, a vegyészet és a régészet kutatóit egy konferenciára össze lehetett volna hozni. Visegrádon ez történt, az összekötő kapocs a SEM/FIB volt. Nagyon jó volt, hogy együtt leültünk, igazi áramlás és kapcsolat jött létre. Az interdiszciplinaritás ebben a témában nagyon fontos és gyümölcsöző. Óriási dolognak tartom, hogy összejött a dolog, szinte egy fal omlott le, valahogy még a robaját is hallottuk. Mindenki végigülte az előadásokat, nem volt jövés-menés.

H. K.: A tudományágak az egyetemen eddig meglehetősen szeparáltak voltak, bezáródtak. A nanotechnológia azonban kifejezetten olyan tudomány, amelynek művelése igényli a különböző tudományterületek együttműködését. A szakterületek elkülönülése régen indokolt volt: *Newton* az alma pH-értékével például nem kellett, hogy foglalkozzon. A nano-objektumoknál azonban nem lehet elkülöníteni a fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságokat – együtt kell őket kezelni. A pásztázó elektronmikroszkóp önmagában akkora értéket képvisel, hogy egy-egy tanszék nem tudja megvásárolni – az együttműködés a különböző tudományágak között szükséges és indokolt. A hatékony kihasználás is követeli ezeket az együttműködéseket. A visegrádi alkalom során felemelő volt átélni, hogy a tudások kicserélődnek a tudományágak között. Mindenki hallatlanul élvezte.

– *Kik vettek részt a konferencián és milyen hasonló rendezvényekre számíthatunk a közeljövőben?*

Sz. Cs.: BsC-hallgatótól egészen az emeritusig terjedt a skála. Több mint félszázan vettünk részt – hallgatók, oktatók, kutatók és doktoranduszok.

H. K.: Úgy gondolom, hogy mindenképpen érdemes fórumokat szervezni évközben is, de ilyen volumenű rendezvényt évente szeretnénk rendezni. Ha tudjuk tartani ezt a tempót, amit most diktálunk, akkor egy év múlva egy komoly tudományos konferenciával tudunk előállni. Visegrád egy pillanatfelvételt volt: most itt tartunk, innen haladunk tovább.

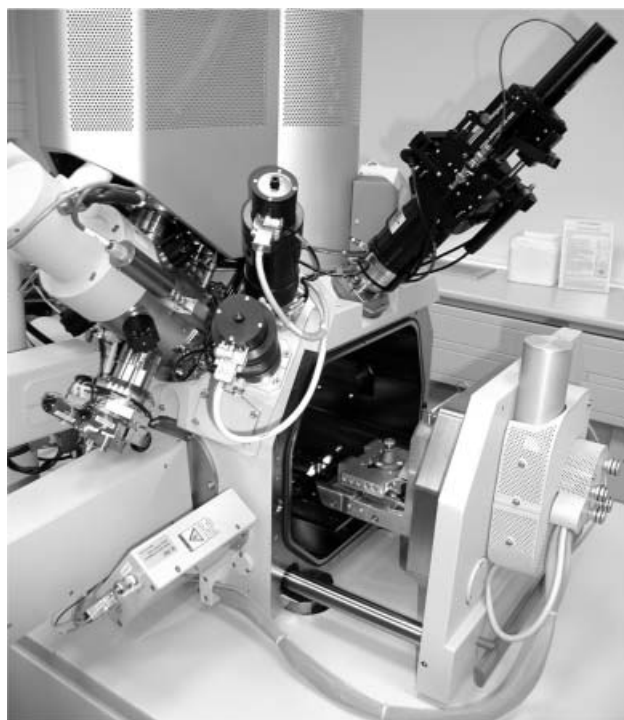
Sz. Cs.: Idén Budapest ad otthont egy nanotechnológiai konferenciának, ahol eredményeinket már a szakmai közvéleménynek is be tudjuk mutatni.

– *Mit kell tudni a SEM/FIB rendszerről, hogyan mutatnák be a nem szakmabelieknek?*

H. K.: Az egyetemi előadásaimon azt szoktam mondani a hallgatóknak, hogyha az emberiség történelmét technológiai szempontból végignézzük, akkor a méter technológiától, a milliméter és a mikrotechnológián keresztül jutottunk el a nanotechnológiához. A technológiákhoz megfigyelő eszközök is tartoztak: így a szemtől indulva érkeztünk el az elektronmikroszkópokig. A mikrotechnológia volt a 20. század nagy hozadéka, amely megváltoztatta az emberiség életét. A nano a 21. század technológiája, amely ugyanilyen hatással lesz az emberek életére. A számítógépek winchesterei például már ezt a technológiát használják. A humángyógyászatban is jelentős áttörésről van szó, hiszen a nanotechnológia mikroszkópjaival a baktériumoknál kisebb, nanoméretű vírusokat is megfigyelhetünk. A projekt keretében Kiss Éva például nanogömbökkel, gyógyszertranszporttal foglalkozik.

Sz. Cs.: A belélegzett levegőrészecskék szerkezetét és kémiai összetételét is meg tudjuk már mondani, a környezetszennyezéssel és az élehető környezettel kapcsolatban is válaszokhoz juthatunk. Új világ tárul fel, olyan világ, amelyet az eddigi eszközökkel nem láttunk.

A SEM/FIB elektronmikroszkóp





Az elektronmikroszkóp beléről

– *Milyen fenntartást igényel a pásztázó elektron-mikroszkóp?*

H. K.: Speciális laboratóriumot építettünk fel. A port nem engedjük be, a hőmérséklet- és a páraingadozásra is nagyon érzékeny a rendszer. A beszéd rezgése például zavarja a mérések pontosságát, így a padlószőnyeg, a falak és a plafon is hangelnyelő borítást kaptak. A minták tisztításával küszködünk jelenleg. A mikroszkóp heti programját előre meghatározzuk, amely nyilvánosan hozzáférhető a <http://submicro.elte.hu> honlapon. Energiatakarékos rendszerről van szó, amelynek

energiaigénye egy hűtőszekrényével egyezik meg. A gépet operátor kezeli, akivel együttműködve dolgoznak a kutatók. A berendezés egyik működtetője egyébként egy MsC-hallgató, *Ratter Kitti*. Nagyon fontosnak tartjuk, hogy hallgatóink is ismerhessék a legújabb kutatásokat. A doktoranduszok is részt vesznek a kutatásokban, szakdolgozatok készülnek a mikroszkóphoz köthetően, a kutatási projektek a doktori programokhoz is szorosan kapcsolódnak.

– *Nemzetközi viszonylatban milyen berendezésről beszélünk?*

H. K.: Magyarországon a maga nemében egyedülálló gépről van szó. Bécsben van hasonló eszköz, de ott nem rendelkeznek ennyi detektorral, felszereltségünk így sokkal jobb, több területen vagyunk képesek vizsgálgatni. Ez az eszköz azonban nem pusztán mikroszkóp, hiszen az elektronsugár mellett ionsugárral is rendelkezünk, amely nano-megmunkálást tesz lehetővé. A mikroszkópia mellett elemanalízisre is lehetőségünk van, illetve az anyagmintán belüli szemcsék irányítottságának vizsgálata is kivitelezhető. Így számtalan kérdésre tudunk válaszolni. A sokoldalúság nagyon vonzó: osztrák, orosz, szlovák és amerikai érdeklődők is használnák kutatásaikban a pásztázó elektronmikroszkópot. Kitérült a világ, egyenrangú partnerekként kapcsolódhatunk be a nemzetközi kutatások vérkeringésébe, új lehetőségeinkhez nagy eredményeket fűzünk.

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Izrael csatlakozik a CERN-hez

Izrael lesz az első nem európai tagországa a svájci Genf mellett működő Európai Magkutató Központnak, a CERN-nek. Április 17-én az izraeli kabinet megszavazta, hogy az ország csatlakozzon az intézményhez. Történelmileg ez ideig a teljes jogú tagság csak az európai nemzetekre korlátozódott, azonban 2010

júniusában a CERN Igazgatótanácsa megnyitotta az ajtót más államok számára is. A Tanács várhatóan a következő ülésén fogja jóváhagyni Izrael tagságát. A teljes jogú tagságot Brazília, Ciprus, Szerbia, Szlovénia és Törökország is célul tűzte ki.

(www.nature.com)

Mindenkit érhet baleset!

2011. április 21-én a Yale Egyetem, New Haven, Connecticut egyik mechanikai műhelyében a *Michele Dufault* nevű fizika-csillagászat szakos egyetemi hallgatót ért halálos baleset jogosan keltette fel Amerika szerte az egyetemi kutatók és biztonsági felelősök figyelmét. Természetszerűleg azonnal felmerült a kérdés, vajon az egyetem megelőzhetette volna a baleset bekövetkezését. Akármilyen is a következtetés azonban, Dufault halála – amely késő éjjel következett be, miközben egyedül dolgozott – mindenkit arra kell, hogy emlékeztessen, hogy első mindig a biztonság!

Az ifjú egyetemi hallgató hölgyet éjjel érte a halál az egyetem Sterling Chemistry Laboratóriumának mechanikai műhelyében. A boncolás szerint a halál oka a nyakat ért „erős szorítás okozta fulladás” volt. Az éjjel folyamán a hallgató a műhelyben egy nagyméretű esztergagépen dolgozott, amikor a haját a gép bekapta és magához rántva megfojtotta. A holttestet az épületben dolgozó hallgatók találták meg, akik értesítették a hatóságokat. A műhely az épület alagsorában van, ahová csak megfelelő engedéllyel rendelkezők léphetnek be, akik megfelelő biztonsági oktatásban vettek részt.

A baleset után a hatóságok bezáratták a laboratóriumot és műhelyét. Az Egyetemen kívül az Occupational Health and Safety Administration (OSHA) folytat vizsgálatot a baleset körülményeinek kivizsgálásá-

ra. A vizsgálatok előreláthatólag több hónapig is eltarthatnak, és azt is vizsgálják, hogy az egyetemen betartották-e az összes biztonsági előírást.

(www.yaledailynews.com)

Szinkrotronsugárzással vizsgálják a művészeti és régészeti maradványokat

Van Gogh egyszer így panaszkodott testvérének, miközben napraforgókat festett: „Minden reggel napkeltétől dolgozom, mivel a napraforgók virágai olyan gyorsan kifakulnak.” Úgy tűnik azonban, hogy a festményein a sárga színek is kifakulnak – pontosabban szólva megbarnulnak. Ez az elszíneződés a festék sárga pigmentjében a hat vegyértékű króm (CrVI) három vegyértékű krómmá (CrIII) történő lassú átalakulására vezethető vissza, amely zöld színű vegyületet alkot és a barnulást okozza. Ezt a roncsolásmentes spektroszkópiai detektív munkát *Letizia Monico* Grenoble-ban végezte kollégáival, a Perugiai Egyetem és az Antwerpeni Egyetem kutatóival, az Európai Szinkrotron Sugárforrás (European Synchrotron Radi-

ation Facility, ESRF) intenzív röntgen nyalábjának felhasználásával.

Az ESRF röntgensugarai hasonlóan hasznosnak bizonyultak a párizsi Nemzeti Természettudományi Múzeumban *Alexandra Houssaye*-nak és kollégáinak, akik háromdimenziós képet készítettek egy 95 millió éves lábaskígyó-maradványról. Mindössze három lábaskígyó-maradvány létezik a világon, amelyek arra utalnak, hogy a kígyók lábakkal kezdték – mint a gyíkok – majd fokozatosan elvesztették azokat. A most vizsgált maradványnak csak egy lába volt szabadon látható, de a másik, amely a sziklában rejtőzött, szintén részletesen láthatóvá vált az ESRF-nek köszönhetően.

(<http://cerncourier.com>)

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Különleges csillagrendszert fedeztek fel magyar csillagászok

Nem egy, hanem három csillag alkotja azt a rendszert, amelyről a *Derekas Alíz és Kiss László* által vezetett negyvennégy tagú nemzetközi kutatócsoport számolt be a tekintélyes *Science* magazin április 8-i számában. Az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet tudósai napjaink legpontosabb fényességmérő műszerével, a Kepler-űrtávcsővel találtak rá a különleges trióra.

– A felfedezett asztrofizikai konfiguráció rendkívül ritka a csillagok világában, hiszen a Kepler-űrtávcső által folyamatosan mért mintegy 150 ezer csillag közül mindössze egyetlen ilyen rendszert ismerünk – hangsúlyozta az eredmények jelentőségét *Derekas Alíz*, az MTA CSKI munkatársa, a publikáció első szerzője.

Az MTA elnöke által 2009-ben elindított Lendület Fiatal Kutatói Program keretében végzett vizsgálatok során a csillagászok a HD 181068 elnevezésű, viszonylag fényes csillagról mutatták ki, hogy valójában egy olyan hármas rendszer, amelynek főkomponense az élete vége felé járó, felfúvódott vörös óriás csillag. Körülötte két, jóval kisebb és halványabb vörös törpe csillag kering, amelyek egy sokkal szorosabb pályán egymást is megkerülik. A hármas rendszer szerkezetének felderítését a Kepler rendkívül nagy pontosságú fényességmérései tették lehetővé. A főkomponens körül keringő vöröstörpe-pár tőlünk nézve 45,5 naponta eltűnik az óriáscsillag mögött, miközben 0,9

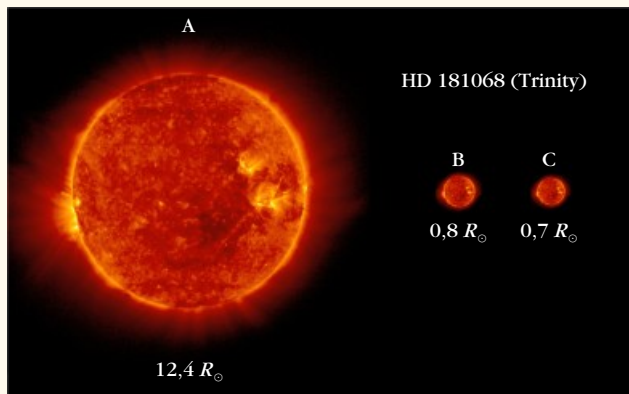
napos periódussal egymást is elfedik. – A kölcsönös fedések eredménye egy jellegzetes fénymenet, amelynek részleteit a Keplerrel tanulmányoztuk, így tudtuk megállapítani a hármas csillagrendszer felépítését – magyarázták a csillagászok.

A kutatók 2010 júniusában fedezték fel a rendszert, majd az azt követő négy hónapban a világ több obszervatóriumában is vizsgálták.

– Többek között a piszkéstartó 1 méteres távcsővel is készültek nagy felbontású felvételek – mutatott rá *Derekas Alíz*, aki elmondta, hogy a HD 181068 csillagot *Trinity*nek keresztelték el, utalva ezzel hármas-csillag jellegére.

A részletes megfigyelések során kiderült, hogy a mintegy 800 fényév távolságban lévő, 5200 kelvin felszíni hőmérsékletű vörös óriás átmérője több mint 12-szerese, tömege mintegy háromszorosa a Napunkénak, valamint központi csillagunknál 93-szor több energiát sugároz a világűrbe. Két kisebb társa annyira apró égitestek, hogy azok távcsővel nem felbonthatók, jelenlétük sem színképlelemzésből, sem interferometriai adatokból nem volt kimutatható. Létüket és jellegzetes mozgásukat csak a rendszer fényességváltozásából tudták meghatározni a csillagászok.

Az MTA CSKI munkatársai úgy vélik: a hármas csillagrendszer felfedezése azért is jelentős eredmény, mert a HD 181068 egy olyan különleges asztrofizikai laboratórium, amelyben a törpecsillag-pár okozta



rezgések vizsgálatán keresztül az árapályerők csillagfejlődésben játszott szerepe jól tanulmányozható. Emellett az égitestek fényességváltozása alapján kimutatott rezgések értékes adatokat szolgáltatnak a csillagok méretéről, összetételéről és egyéb fizikai jellemzőiről is. A magyar kutatók által felfedezett hármas rendszert kivéve csak két olyan csillagtriót ismernek a csillagászok, amelyben 45,5 napnál rövidebb periódus a jellemző. – A Trinity esetében ezért, a csillagászatban szokatlan módon, már emberi időskálán is kimutatható pályaváltozások történnek – hangsúlyozta a csillagász.

(www.mta.hu)

DEUTSCH GYULA, 1931–2011

2011. február 5-én elhunyt *Deutsch Gyula*, a Magyar Tudományos Akadémia külső és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteletbeli tagja.

Deutsch Gyula emeritus professzor a belgiumi Louvain-la-Neuvi-i Katolikus Egyetemen kísérleti fizikusként dolgozott mintegy 35 évig, használva egyetemének gyorsítóját.

Kutatója volt a CERN-nek (a Nobel-díjas *Carlo Rubbiával*), a Los Alamos-i Nemzeti Laboratóriumnak (USA), a svájci PSI Kutatóközpontnak és Kanadában a vancouveri TRIUMF központnak. Ezen intézetekben tanulmányozta az atommag, a pion és müon béta-bomlását és a semleges kaon CP-sértését.

Deutsch Gyula fő érdeklődési köre a gyenge kölcsönhatások szimmetriatulajdonságai, a neutrínó közvetlenül kimutatható tömege és a atommag béta-bomlásának magfizikai szempontból történő tanulmányozása, kiemelkedő eredményeit ezeken a területeken érte el. Száznál több cikke jelent meg referált nemzetközi szaklapokban. A Standard Modell hatáiról monográfiát írt.

Számos nemzetközi konferenciát szervezett és világszerte rendszeresen tartott meghívott előadásokat. Mint a Louvaini Egyetem klinikáinak konzultánusa, az izotópok orvosi felhasználását is vizsgálta és segítette.

Több nemzetközi laboratórium tudományos tanácsát vezette (Louvain-la-Neuve, Belgium; Max Planck Institut für Kernphysik, Heidelberg, Németország; Paul Scherrer Institut, Villigen, Svájc; TRIUMF, Vancouver, Kanada; JINR, Dubna, Oroszország). Konzultánsként dolgozott a Los Alamos-i laboratóriumban és a kanadai kormány tudományos tanácsának szervezésében (NSERC). Saját egyetemén először a magfizikai intézet, majd a fizikai tanszék igazgatója volt, valamint 5 évig tagja az Egyetemi Tanácsnak. Az Európai Fizikai Társulat felkérésére az Európai Község 5. keretprogramjában a PANS (Public Awareness of Nuclear Science in Europe) nemzetközi projektet koordinálta.



Tagja volt az Academia Europaea-nak, levelező tagja az osztrák Tudományos Akadémiának, külső tagja a Magyar Tudományos Akadémiának és tiszteletbeli tagja az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, megválasztott Fellow-ja az Amerikai Fizikai Társaságnak, tagja a Belga Fizikai Társulat elnökségének.

A belga Tudományos Akadémia Wetrems-díjjal tüntette ki.

A magyar kutatókkal való intenzív kapcsolata tovább erősödött az elmúlt évek során. Kényszerű emigrációja kezdetén, a negyvenes évek végén, ötvenes évek elején egyik alapítója a Leuveni Magyar Kolégiumnak.

Tanszékén számos magyar munkatárssal dolgozott együtt. Amint lehetővé váltak a Magyarországról történő ösztöndíjas meghívások, mindig voltak magyar vendégkutatók intézetében. Számos közös munkája volt magyarországi intézetekkel és kutatócsoportokkal. Az elmúlt években rendszeresen járt hazánkban, hogy előadásokat tartson vagy nemzetközi iskolák szervezésében vegyen részt. Így például legutóbb, 2002 augusztusában, a Debrecenben rendezett „II. International Symposium on Radiation Education” résztvevője volt.

Berényi Dénes

Jövőnk energiája



mvm paksi atomerőmű

www.atomeromu.hu

